



**Maria Madalena  
Oliveira Vieira**

**Avaliação e apoio ao sistema de previsão da  
qualidade do ar**



**Maria Madalena  
Oliveira Vieira**

**Avaliação e apoio ao sistema de previsão da  
qualidade do ar**

dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação da Doutora Alexandra Monteiro, Investigadora Auxiliar e, da Doutora Ana Isabel Miranda, Professora Catedrática, do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

**o júri**  
presidente

**Prof. Doutora Maria Isabel Aparício Paulo Fernandes Capela**

professora associada do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

**Prof. Doutora Oxana Anatolievna Tchepel**

professora auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra

**Doutora Maria Alexandra Castelo Sobral Monteiro**

Investigadora Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

## **agradecimentos**

À Investigadora Auxiliar Alexandra Monteiro, orientadora da dissertação, expresso o meu profundo agradecimento pela orientação e apoio incondicionais que muito elevaram os meus conhecimentos e, sem dúvida, muito estimularam o meu desejo de querer, sempre, saber mais e a vontade constante de querer fazer melhor.

À Professora Catedrática Ana Isabel Miranda, coorientadora da dissertação, agradeço todo o apoio e profissionalismo, a partilha do saber e as valiosas contribuições para o trabalho.

À aluna de Doutoramento Carla Gama, por toda disponibilidade e apoio prestado durante esta etapa sendo um exemplo para mim.

À Minha Família, em especial aos Meus Pais, ao Meu Irmão e ao Meu Namorado, um enorme obrigada por acreditarem sempre em mim e naquilo que faço e por todos os ensinamentos de vida. Espero que esta etapa, que agora termino, possa, de alguma forma, retribuir e compensar todo o carinho, apoio e dedicação que, constantemente, me oferecem. A eles, dedico todo este trabalho.

O meu profundo e sentido agradecimento a todas as pessoas que contribuíram para a concretização desta dissertação, estimulando-me intelectual e emocionalmente.

## **palavras-chave**

Qualidade do Ar, Índice, Modelação, Previsão, Eventos Naturais, Partículas

## **resumo**

Esta dissertação tem como principal objetivo avaliar e apoiar o sistema de previsão da qualidade do ar existente em Portugal.

Uma forma eficaz de comunicar com os decisores políticos e com o público em geral, sobre a qualidade do ar é em termos de índices. O atual Índice de Qualidade do Ar existente em Portugal será revisto e avaliado, sendo apresentadas algumas propostas de melhoramento. A inclusão de PM<sub>2,5</sub>, um IQA distinto por tipo de estação, a inclusão de dados modelados na ausência de dados medidos e informação sobre eventos naturais no IQA foram as principais sugestões de melhoria apontadas.

Para além da comunicação da informação sobre a qualidade do ar com base em índices a disponibilização atempada da previsão da qualidade do ar é uma mais valia pois, permite com que o público seja alertado quando ocorrem situações que de alguma forma possam prejudicar a saúde humana.

As duas primeiras sugestões foram estudadas utilizando um ano de dados medido sendo que, a inclusão de PM<sub>2,5</sub> não causou nenhum impacto no valor do IQA, já o desenvolvimento de um IQA distinto por estações, fornece ao público melhores informações sobre a qualidade do ar da respetiva área.

Uma das melhorias propostas para o IQA é precisamente a inclusão de informação sobre eventos naturais. Desta forma, na segunda parte deste trabalho foi feita a avaliação do desempenho do novo módulo de poeiras do sistema de previsão. Verificou-se que consegue prever os episódios de poeiras identificados, mas subestima a magnitude destes.

Novos desenvolvimentos são necessários para melhorar este prognóstico.

**keywords**

Air quality, Index, Modeling, Forecast, Natural events, Particles

**abstract**

This thesis aims to assess and support the quality of existing air forecasting system in Portugal.

An effective way to communicate with policy makers and the general public on air quality is in terms of indices. The current Air Quality Index existing in Portugal will be reviewed and evaluated, and presented some proposals for improvement. The inclusion of PM<sub>2.5</sub>, a distinguished IQA by type of station, the inclusion of modeled data in the absence of measured data and information on natural events in the IQA were the main suggestions for improvement identified.

In addition to the communication of information on the air quality index based timeliness air quality forecast is an asset because it allows the audience to be alerted when there are situations that somehow could endanger human health.

The first two suggestions were studied using one year of data measured and, the inclusion of PM<sub>2.5</sub> was no impact on the value of AQI, as the development of a distinct IQA by stations, provides the public with better information on air quality the respective area.

One of the proposed improvements to the IQA is precisely the inclusion of information on natural events. Thus, in the second part of this study was done to evaluate the performance of the new module of the forecasting system dust. It was found that can predict episodes identified dusts, but underestimates the magnitude thereof.

New developments are needed to improve this prognosis.

## **Lista de Acrónimos**

AAE – Agência Americana do Ambiente

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

AML - Área Metropolitana de Lisboa (Norte ou Sul)

CCDR - Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional

CE – Comissão Europeia

CER - Cerro

CHA - Chamusca

EMEP - European Monitoring and Evaluation Programme

EPA – *Environmental Protection Agency*

EQM - Erro Quadrático Médio

ERV - Ervedeira

ESM – Erro Sistemático Médio

EUA – Estados Unidos da América

FCT-UNL – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

FUN - Fundação

HYSPLIT - *Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model*

IQA – Índice de Qualidade do Ar

IQA-PM – Índice de Qualidade do Ar-Material Particulado

OLO – Lamas de Olo

PM<sub>2,5</sub> – Material Particulado com diâmetro equivalente aerodinâmico inferior a 2,5µm

PM<sub>10</sub> – Material Particulado com diâmetro equivalente aerodinâmico inferior a 10µm

TER - Terena

UA – Universidade de Aveiro

UE – União Europeia

U.S. EPA – *United States Environmental Protection Agency*

WHO – *World Health Organization*

## **Símbolos Químicos**

CO – Monóxido de Carbono

NO<sub>2</sub> – Dióxido de Azoto

O<sub>3</sub> – Ozono

SO<sub>2</sub> – Dióxido de Enxofre

# Índice

1. Introdução.....	1
2. Índices de Qualidade do Ar .....	5
2.1. Critérios para a definição de um IQA.....	5
2.2. Principais Índices de Qualidade do Ar .....	6
2.3. Análise comparativa dos diferentes IQA .....	12
3. Proposta de reformulação do IQA para Portugal .....	19
3.1. Questionário às CCDRs.....	19
3.2. Avaliação da inclusão de alguns aspetos .....	22
4. Previsão da Qualidade do Ar em Portugal – Eventos Naturais.....	27
4.1. Sistema de Previsão da Qualidade do Ar .....	27
4.2. Seleção de episódios de eventos .....	29
4.3. Avaliação do Sistema de Previsão.....	34
5. Conclusão.....	41
Referências Bibliográficas .....	43
Webgrafia.....	47
Anexos.....	i
Anexo I – Índices de Qualidade do Ar.....	ii
Anexo II – Índice de Qualidade do Ar e Saúde.....	ix



## Índice de Figuras

Figura 2.1: Escala do Índice de Qualidade do Ar e Saúde .....	11
Figura 2.2: Comparação das classes do IQA relativamente às concentrações de PM <sub>10</sub> (24h), por categoria do IQA, por país.....	14
Figura 2.3: Comparação das classes do IQA relativamente às concentrações de PM <sub>2,5</sub> (24h), por categoria do IQA, por país.....	15
Figura 2.4: Comparação das classes do IQA relativamente às concentrações de NO <sub>2</sub> (1h), por categoria do IQA, por país.....	15
Figura 2.5: Comparação das classes do IQA relativamente às concentrações de O <sub>3</sub> (1h), por categoria do IQA, por país.....	16
Figura 2.6: IQA observado em Portugal a 15 de dezembro de 2015 (a), calculado de acordo com: o IQA da China (b); o IQA dos EUA (c) e o IQA da Alemanha (d).....	17
Figura 3.1: Mapa de Portugal com a área de abrangência de cada CCDR. ....	20
Figura 3.2: Questionário enviado às CCDRs. ....	20
Figura 3.3: Resultados do questionário para cada questão.....	21
Figura 3.4: Localização das estações de monitorização existentes na AML Norte (azul escuro) e AML Sul (azul claro).....	23
Figura 3.5: Estações de monitorização estudadas presentes na AML Norte e Sul. ....	23
Figura 3.6: Comparação do IQA considerando todas as estações da AML Norte, apenas as de fundo e apenas as de tráfego.....	24
Figura 3.7: Comparação do IQA considerando todas as estações da AML Sul, apenas as de fundo e apenas as industriais. ....	24
Figura 3.8: Comparação do cálculo do IQA para a AML Norte com a inclusão ou não de PM <sub>2,5</sub> ... ..	25
Figura 3.9: Comparação do cálculo do IQA para a AML Sul com a inclusão ou não de PM <sub>2,5</sub> .....	26
Figura 4.1: Domínios de simulação usados para a previsão da qualidade do ar para Portugal.....	28
Figura 4.2: Regiões e estações rurais de fundo utilizadas para a quantificação da contribuição de eventos naturais no território de Portugal Continental.....	30
Figura 4.3: Concentrações médias diárias de PM <sub>10</sub> registadas nas diferentes estações rurais de fundo representativas. ....	32
Figura 4.4: Concentração de PM <sub>10</sub> medida e respetiva contribuição natural para cada estação rural de fundo representativa.....	34
Figura 4.5: Concentrações médias diárias medidas e simuladas de PM <sub>10</sub> para as estações representativas de fundo rural. ....	35

Figura 4.6: Concentrações simuladas de PM10 provenientes de fontes naturais e antropogénicas, para as várias estações de fundo rural representativas. ....	37
Figura 4.7: IQA modelado: considerando as concentrações totais de PM10 (a) e descontando a fração natural das concentrações totais de PM10 (b) para o dia 21 de fevereiro de 2016.....	39
Figura A.1: Comparação das classes IQA relativamente às concentrações de NO <sub>2</sub> (24h), por categoria do IQA, por país.....	vii
Figura A.2: Comparação das classes do IQA relativamente às concentrações de O <sub>3</sub> (8h), por categoria do IQA, por país.....	vii
Figura A.3: Comparação das classes do IQA relativamente às concentrações de CO (1h), por categoria do IQA, por país.....	vii
Figura A.4: Comparação das classes do IQA relativamente às concentrações de SO <sub>2</sub> (24h), por categoria do IQA, por país.....	viii
Figura A.5: Comparação das classes do IQA relativamente às concentrações de SO <sub>2</sub> (1h), por categoria do IQA, por país.....	viii
Figura A.6: Comparação das classes do IQA relativamente às concentrações de CO (8h), por categoria do IQA, por país.....	viii

## Índice de Tabelas

Tabela 2.1: Poluentes e classes do índice para o IQAC. ....	7
Tabela 2.2: Resumo dos principais índices de qualidade do ar e diferenças entre eles. ....	12
Tabela 4.1: Dados necessários para o cálculo das emissões de poeiras. ....	29
Tabela 4.2: Lista dos dias de eventos naturais para o período temporal em estudo. ....	31
Tabela 4.3: Parâmetros estatísticos utilizados para a validação do modelo (EQM, ESM e r). ....	36
Tabela A.1: Gamas de concentrações em função da categoria de IQA para a Índia. ....	ii
Tabela A.2: Gamas de concentrações em função da categoria de IQA para o Brasil ....	ii
Tabela A.3: Gamas de concentrações em função da categoria de IQA para a Finlândia ....	iii
Tabela A.4: Gamas de concentrações em função da categoria de IQA para a África do Sul ....	iii
Tabela A.5: Gamas de concentrações em função da categoria de IQA para a Índia ....	iii
Tabela A.6: Gamas de concentrações em função da categoria de IQA para Espanha. ....	iv
Tabela A.7: Gamas de concentrações em função da categoria de IQA para a Bélgica ....	iv
Tabela A.8: Gamas de concentrações em função da categoria de IQA para os Estados Unidos. ....	v
Tabela A.9: Gamas de concentrações em função da categoria de IQA para a Alemanha ....	v
Tabela A.10: Gamas de concentrações em função da categoria de IQA para o Reino Unido ....	vi
Tabela A.11: Gamas de concentrações em função da categoria de IQA para a China ....	vi
Tabela A.12: Gamas de concentrações em função da categoria de IQA para a Bélgica ....	ix

## 1. Introdução

A qualidade do ar tem sido objeto de intensa investigação nas últimas décadas. Atualmente é considerada como um dos fatores decisivos para a qualidade de vida nas áreas urbanas. Em meio urbano, as fontes antropogénicas típicas de poluição são principalmente o tráfego automóvel e, quando existente, a atividade industrial.

Uma maneira eficaz de comunicar, informações sobre a qualidade do ar, aos decisores políticos e ao público em geral é em termos de índices. Um índice de qualidade do ar (IQA) pode ser definido como uma ferramenta de comunicação baseada numa medida sumária padronizada da qualidade do ar, que expressa o nível de risco de saúde relacionado com a poluição do ar (Kowalska *et al.*, 2009), descrevendo a qualidade do ar de uma forma simples e compreensível. Estes índices dão ao público a oportunidade de acompanhar o estado local, regional e nacional da qualidade do ar, sem a necessidade de compreender os detalhes dos dados de monitorização sobre os quais se baseiam. O principal objetivo, do ponto de vista da saúde pública, é fornecer ao público informações que permitam tomar as medidas apropriadas para se protegerem de efeitos adversos da poluição do ar na saúde. Para além disso, visa-se aumentar a consciência dos efeitos na saúde atribuíveis à poluição do ar, motivando mudanças nos comportamentos individuais, políticos e públicos (Doan e East, 1977; Stieb *et al.*, 2005).

Existem muitos IQA em uso no mundo, todos diferentes em conceito e apresentação, o que dificulta a comparação da qualidade do ar entre cidades e regiões (Elshout *et al.*, 2008; Kanchan *et al.*, 2015). Tem sido difícil criar um índice uniformemente aceite e acessível ao público.

Diversas agências de saúde pública têm questionado a validade dos IQAs. A principal crítica é que o IQA não reflete, adequadamente, a atual compreensão dos efeitos adversos da poluição do ar na saúde, em especial a ocorrência de efeitos para baixos níveis de exposição e a contribuição aditiva de vários poluentes (Pyta, 2008; Shooter e Brimblecombe, 2009). A *World Health Organization* (WHO, 2005) estabeleceu que, no caso da matéria particulada (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>) e ozono troposférico (O<sub>3</sub>) não existem concentrações abaixo das quais o risco de efeitos adversos para a saúde é nulo e, o mesmo acontece com o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e o dióxido de azoto (NO<sub>2</sub>).

Para além da avaliação da qualidade do ar ser transmitida sob a forma de índice, este também é particularmente importante na previsão da qualidade do ar, pois surge como um mecanismo de informação e alerta ao público, quando ocorrem situações que de alguma forma

prejudiquem a saúde humana. Atualmente, já existem vários sistemas de previsão da qualidade do ar na Europa e em Portugal, nomeadamente.

Os objetivos fundamentais da previsão da qualidade do ar em Portugal (Monteiro, 2009) consistem em: (i) divulgar informação em tempo real, às autoridades de proteção da saúde pública e ao público interessado, através do portal da Agência Portuguesa do Ambiente (APA) [1]; (ii) estabelecer programas estratégicos de ação de curto prazo, que permitam uma correta gestão da qualidade do ar e uma avaliação da rede de monitorização nacional. O sistema de previsão da qualidade do ar tem vindo a ser estudado e avaliado e o último desenvolvimento feito diz respeito à inclusão das poeiras dos desertos do Norte de África (doravante designadas por “eventos naturais”) (Menut *et al.*, 2013), permitindo a sua simulação e prognóstico. As poeiras vindas dos desertos africanos têm grande influência nas concentrações de PM<sub>10</sub>, o que faz com que, muitas vezes, estes valores estejam em incumprimento com os limites legislados. No entanto, a Diretiva 2008/50/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, aprovada a 21 de Maio de 2008, relativa à qualidade do ar ambiente e a um ar mais limpo na Europa fornece aos Estados-Membros a possibilidade de subtrair a contribuição de fontes naturais, sob certas condições antes de comparar as concentrações de poluentes do ar ambiente com os valores-limite legislados (Viana *et al.*, 2011), uma vez que estas contribuições poderão ser avaliadas, mas não evitadas.

As contribuições de poeiras minerais podem resultar da ressuspensão local de sólidos áridos ou de transporte a longas distâncias a partir de regiões áridas. De facto, uma das causas apontadas para a ocorrência de partículas de origem natural no Sul da Europa, e em particular na bacia do Mediterrâneo, tem sido a poeira transportada do Norte de África, com origem nos desertos do Sahara e Sahel (Monteiro *et al.*, 2015). A influência da contribuição de partículas de origem natural sobre as concentrações de PM<sub>10</sub> é muito importante no Sul da Europa, onde os padrões climáticos e geográficos típicos estão associados a níveis de fundo de PM<sub>10</sub> relativamente elevados.

Os episódios naturais de altos níveis de material particulado no Sul da Europa são mais frequentes em períodos de primavera / verão, quando as condições climáticas são favoráveis para o transporte de poeiras do norte da África para o Mediterrâneo oriental (primavera) e em regiões do Mediterrâneo Ocidental (verão), como tem vindo a ser observado e modelado (Monteiro *et al.*, 2015).

O principal objetivo desta dissertação consiste na análise e discussão do IQA usado / aplicado em Portugal e na proposta de possíveis melhorias. No Capítulo 2 é feita uma revisão dos principais IQA existentes no mundo bem como, uma análise comparativa dos mesmos de modo a

perceber-se quais as principais diferenças existentes entre eles, em termos de classes do IQA e quais os mais ou menos permissivos/exigentes.

Com base nas conclusões retiradas do capítulo anterior e tendo em conta as sugestões registadas num questionário respondido por todas as Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional (CCDR), entidades responsáveis pela gestão da qualidade do ar e pela divulgação do IQA ao nível regional, no Capítulo 3, é apresentada uma proposta de reformulação do IQA para Portugal. Neste capítulo identificaram-se as principais sugestões e estudou-se o impacto de duas delas (inclusão de PM<sub>2,5</sub> e IQA por tipo de estação), em maior detalhe usando dados observados para o ano de 2014.

Uma das propostas compreende a inclusão de dados modelados (na ausência de dados medidos) e informação sobre eventos naturais (poeiras dos desertos africanos) no IQA, avaliou-se o sistema de previsão da qualidade do ar existente em Portugal. Esta avaliação foi realizada, em particular, para as poeiras do deserto (por comparação entre dados observados e modelados), para assim também se perceber qual o desempenho do novo módulo de simulação e dispersão das poeiras. A contribuição das poeiras do deserto nas concentrações de PM<sub>10</sub> e, de que forma, estas influenciam o IQA nacional foram também incluídas neste estudo.

Por sua vez, no Capítulo 4, é abordada uma outra sugestão das CCDRs no que diz respeito à inclusão de informação sobre os eventos naturais no IQA de Portugal. Desta forma, é realizada uma avaliação ao sistema de previsão da qualidade do ar em funcionamento em Portugal, com especial importância, no recente módulo de prognóstico de poeiras. Numa primeira fase, estudou-se qual a contribuição destes eventos sobre os níveis de PM<sub>10</sub> observados através da metodologia apresentada por Querol *et al.* (2010). Dada a identificação dos episódios de eventos naturais através dos dados observados, recorreu-se aos dados modelados pelo sistema de previsão da qualidade do ar para se perceber até que ponto este é capaz de prever estes episódios. Com base nos dados modelados, estudou-se qual a contribuição das frações, natural e antropogénica, para as concentrações de PM<sub>10</sub> sendo este conhecimento uma mais valia para a gestão e estratégias de melhoria da qualidade do ar. Para finalizar este capítulo, fez-se o cálculo do IQA-PM de acordo com as contribuições modeladas permitindo perceber se o desconto da contribuição natural nas concentrações de PM<sub>10</sub> tem influência no IQA transmitido para a população.

No Capítulo 5 são apresentadas as principais conclusões a reter deste estudo.



## **2. Índices de Qualidade do Ar**

O IQA é uma ferramenta que permite uma classificação simples e compreensível do estado da qualidade do ar, quer nas áreas urbanas, industriais e ou de fundo. Permite um fácil acesso do público à informação sobre a qualidade do ar, através da consulta direta ou através dos órgãos de comunicação social.

Neste capítulo é apresentada a compilação de vários IQA usados no mundo, sendo feita a sua comparação por tipo de poluente e por base temporal de amostragem. Também é realizada uma análise das diferenças obtidas no caso da aplicação destes índices a Portugal, de modo a perceber quais as diferenças/semelhanças existentes entre os vários índices e, desta forma, identificar o que poderá ser melhorado no IQA atual de Portugal.

### **2.1. Critérios para a definição de um IQA**

Dado que o objetivo de qualquer IQA é transformar as concentrações de um poluente individual num único índice numérico usando o mecanismo de agregação adequado, existem alguns critérios essenciais que devem ser tomados em consideração.

Os IQA tentam padronizar e sintetizar informações sobre a poluição do ar e permitir, de forma eficiente, a comparação entre eles. Na construção de índices de qualidade do ar, devem ser tidos em conta os seguintes critérios (Kanchan e Goyal, 2015):

- Poder ser facilmente compreendido pelo público;
- Incluir as principais características dos poluentes e as suas sinergias;
- Ser expansível para outros poluentes e bases temporais;
- Estar relacionado com os valores legislados utilizados nos diversos países/regiões;
- Evitar "eclipse" (eclipse ocorre quando um IQA não indica má qualidade do ar, contudo as concentrações de um ou mais poluentes podem ter atingido valores inaceitavelmente elevados);
- Evitar a "ambiguidade" (ambiguidade ocorre quando um IQA indica má qualidade do ar, contudo existe apenas um poluente que está fora do limite permitido);
- Ser usado como um sistema de alerta;
- Basear-se em dados de qualidade do ar válidos, obtidos a partir de estações de monitorização representativas de uma dada área.



## 2.2. Principais Índices de Qualidade do Ar

Inicialmente o IQA era conhecido como Índice de Poluição Atmosférica (IPA) ou Índice de Normas de Poluentes (INP), tendo sido desenvolvido por várias agências/investigadores ambientais de diferentes países/regiões (Kanchan *et al.*, 2015).

Em 1976, a *Environmental Protection Agency* (EPA) estabeleceu um INP, que avaliava a qualidade do ar. Esse índice variava de 0 a 500, com base em PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e monóxido de carbono (CO). O poluente que apresentava maior índice individual era considerado o índice da região/zona. Este índice foi revisto e passou a chamar-se Índice de Qualidade do Ar sendo, implementado pela EPA em 1999 (Kanchan *et al.*, 2015). Este foi o ponto de partida para os vários IQA, definidos e aplicados nas diferentes regiões do mundo.

### 2.2.1. IQA U.S. EPA

O IQA U.S. EPA é calculado com base nos cinco principais poluentes atmosféricos regulamentados pelo “*Clean Air Act*”, nomeadamente: O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub>, CO, SO<sub>2</sub> e NO<sub>2</sub>. É calculado tendo em conta as normas de qualidade do ar legisladas para proteger a saúde pública de cada país [2].

A equação 2-1 descreve o cálculo do índice individual de cada poluente, onde são usados os dados de concentração de poluentes e os “*breakpoints*” definidos pela EPA com base nos Padrões Nacionais de Qualidade do Ar (ver Tabela A.8 do Anexo I).

$$I_p = \frac{I_{HI} - I_{LO}}{BP_{HI} - BP_{LO}} (C_p - BP_{LO}) + I_{LO} \quad \text{Equação 2-1}$$

Onde:

$I_p$  = Índice do poluente P;

$C_p$  = concentração do poluente P medido;

$BP_{HI}$  = ponto de interrupção que seja maior do que ou igual a  $C_p$ ;

$BP_{LO}$  = ponto de interrupção que é menor do que ou igual a  $C_p$ ;

$I_{HI}$  = valor IQA correspondente a  $BP_{HI}$ ;

$I_{LO}$  = valor IQA correspondente a  $BP_{LO}$

O IQA é determinado pelo maior índice individual,  $I_p$ . Este método não tem flexibilidade para incorporar qualquer número de poluentes, e não considera a agregação de poluentes nem a agregação espacial. Para melhor perceção por parte do público, o IQA é subdividido por classes de diferentes cores.

Este índice é utilizado em diversos países tais como EUA, Índia, Brasil, África do Sul, China, Austrália e vários países europeus (e.g.: Bélgica, Finlândia, Espanha, Portugal, Alemanha, França, etc.). Contudo, cada país adapta-o consoante as suas necessidades e legislação adotada (ver Tabela 2.2).

### 2.2.2. Índice de Qualidade do Ar Comum (IQAC)

No âmbito do Projeto *Citeair* (Elshout, 2012) cofinanciado pelos programas INTERREG IIIC e INTERREG IVC foi desenvolvido, em 2008, o IQAC. Este índice pretende descrever a situação da qualidade do ar nas cidades europeias de uma forma comparável e compreensível, permitindo diferenciar entre condições de tráfego e de fundo urbano.

O IQAC foi projetado para apresentar e comparar a qualidade do ar em tempo quase real, numa base horária ou diária. É constituído por 5 classes, utilizando uma escala de 0 (muito baixa) a > 100 (muito alto) e as cores correspondentes variam de verde claro a vermelho escuro.

É calculado de acordo com as concentrações de poluentes medidas diferenciando entre tráfego e fundo urbano, através da interpolação linear entre os limites de cada classe (ver Tabela 2.1). O índice final é o valor mais alto dos subíndices para cada componente (poluente), sendo a escolha das classes para o IQAC inspirada na legislação europeia. Tal como o anterior IQA, não tem em conta os efeitos adversos devido à coexistência de todos os outros poluentes. Leicester, Roma, Paris e Roterdão são exemplos de cidades que adotaram este índice (Leger e Elshout, 2006).

**Tabela 2.1:** Poluentes e classes do índice para o IQAC.

Classe Índice	Tráfego				Fundo Urbano					
	Poluentes obrigatórios		Poluentes auxiliares		Poluentes obrigatórios			Poluentes auxiliares		
	NO <sub>2</sub> mg m <sup>-3</sup>	PM10 µg m <sup>-3</sup>	CO µg m <sup>-3</sup>		NO <sub>2</sub> (1h) mg m <sup>-3</sup>	PM10 µg m <sup>-3</sup>		O <sub>3</sub> (1h) mg m <sup>-3</sup>	CO (8h) µg m <sup>-3</sup>	SO <sub>2</sub> (1h) mg m <sup>-3</sup>
	1h	1h	24h	8h	1h	1h	24h	1h	8h	1h
<b>Muito Baixo</b> (0-25)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	50	25	12	5000	50	25	12	60	5000	50
<b>Baixo</b> (26-50)	51	26	13	5001	51	26	13	61	5001	51
	100	50	25	7500	100	50	25	120	7500	100
<b>Médio</b> (51-75)	101	51	26	7501	101	51	26	121	75001	101
	200	90	50	10000	200	90	50	180	10000	300
<b>Alto</b> (76-100)	201	91	51	10001	201	91	51	181	10001	301
	400	180	100	20000	400	180	100	240	20000	500
<b>Muito Alto</b> (>100)	>400	>180	>100	>20000	>400	>180	>100	>240	>20000	>500

Analisando a Tabela 2.1 verifica-se que são monitorizados os mesmos poluentes com as mesmas gamas de concentração para os diferentes cenários, à exceção, da inclusão de dois poluentes auxiliares (O<sub>3</sub> e SO<sub>2</sub>) em fundo urbano.

### 2.2.3. Índice Novo de Qualidade do Ar (INQA)

O INQA foi desenvolvido por Bishoi *et al.* (2009) e é baseado na análise fatorial dos principais poluentes, ou seja, nos principais fatores que fazem com que o IQA varie. A concentração de cada poluente, o desvio em relação à média ou os seus valores normalizados são expressos como uma combinação linear desses fatores. Os fatores que contribuem, para cerca de 60% de variação do IQA são considerados e o resto pode ser negligenciado. O INQA é dado pela equação 2-2:

$$IQAN = \{\sum_{i=1}^n (P_i E_i) / \sum_{i=1}^n E_i\} \quad \text{Equação 2-2}$$

Onde:

P<sub>i</sub>: Fator Principal

E<sub>i</sub>: valor próprio inicial (≥1) no que diz respeito à variação percentual

Este método pode ser aplicado para avaliar a qualidade relativa do ar, sem considerar a agregação espacial, efeitos na saúde e medidas de incerteza, mas considerando a agregação de poluente.

### 2.2.4. Índice de Poluição (IP)

O IP foi desenvolvido e aplicado por Cannistraro e Ponterio, (2009) para descrever o estado da qualidade do ar na cidade de Nápoles, Itália (Kanchan *et al.*, 2015). Este método é baseado num indicador simples de qualidade do ar, num contexto urbano, que é útil para comunicar aos cidadãos sobre o estado da qualidade do ar numa área poluída. O cálculo do IP é baseado na média ponderada dos valores dos subíndices dos poluentes mais importantes.

É expresso por um índice numérico, variando de 1 a 7, em que o valor mais elevado representa um nível de poluição mais elevado e, um risco mais elevado para a saúde.

O IP é calculado pelas médias aritméticas utilizando os subíndices dos dois poluentes mais críticos sendo dado pela equação 2-3:

$$IP = \frac{(I_1 + I_2)}{2} \quad \text{Equação 2-3}$$

Os dois subíndices ( $I_1$  e  $I_2$ ) são calculados para os dois poluentes que apresentam as maiores concentrações. Os subíndices de cada poluente são determinados pela equação 2-4:

$$I_x = \frac{V_{max\ hx}}{V_{rif}} \times 100 \quad \text{Equação 2-4}$$

Onde

$I_x$ : subíndice do poluente x.

$V_{max\ hx}$ : valor médio horário máximo do poluente x num dia em todas as estações de monitorização da área.

$V_{rif}$ : valor limite horário do poluente x para proteção da saúde humana.

### 2.2.5. Índice de Poluição do Ar Integral (IPAI)

O IPAI foi definido por Bezuglaya *et al.* (1993) para cidades russas e consiste na soma de um número pré-selecionado dos maiores índices individuais de poluentes, calculados através da normalização das concentrações de poluição relativamente à concentração máxima permitida (CMP). Especialistas russos em saúde estabeleceram CMP para mais de 400 poluentes. Para entender o índice de poluição do ar, os valores de concentração medidos são comparados com as CMP de curto e longo prazo (Kanchan *et al.*, 2015).

Os subíndices do IPAI são determinados usando a equação 2-5:

$$I_{li} = \frac{X_i}{CMP_i} \quad \text{Equação 2-5}$$

Em que:

$X_i$ : concentração do poluente i

$I_{li}$ : subíndice do poluente i

$CMP_i$ : concentração máxima permitida para o poluente i

O grau de poluição em relação a cada poluente é expresso através da comparação com o grau de poluição do ar relativo ao  $SO_2$ , usando a seguinte expressão:

$$I_{2i} = \left( \frac{x_i}{CMP_i} \right)^{C_i} \quad \text{Equação 2-6}$$

A razão da escolha do  $SO_2$  como base de comparação é o facto de este ser um poluente monitorizado em todas as cidades russas. Assim, o IPAI pode ser determinado pela soma aritmética de todos os subíndices correspondentes a cada poluente atmosférico considerado na avaliação da qualidade do ar.

Contudo, com o avanço da investigação, concluiu-se que este método era ambíguo na forma de cálculo e podia levar a que o índice transmitido não fosse correto, indicando que o ar

estava mais poluído do que na realidade estava. Como consequência, sugeriram uma agregação não linear dos subíndices para relatar de forma mais uniforme a poluição do ar:

$$I = \left( \sum_{i=1}^N S_i^{\frac{1}{p}} \right)^p \quad \text{Equação 2-7}$$

Em que:

I: índice integral

N: nº de subíndices

S<sub>i</sub>: subíndice do poluente i

p: expoente

Depois de um estudo extensivo, investigadores sugeriram que o expoente p fosse igual a 0,4 para minimizar o efeito de ambiguidade no índice (Kanchan *et al.*, 2015).

### 2.2.6. Índice de Qualidade do Ar Agregado (IQAA)

O IQAA foi proposto por Kyrkilis *et al.* (2007) e baseia-se nos efeitos causados pelos cinco principais poluentes (CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> e PM10) de uma forma agregada, tendo em conta as normas europeias. Este método foi definido, especificamente, para avaliar a qualidade do ar em cada estação de monitorização em Atenas, Grécia (Kyrkilis *et al.*, 2007), sendo calculado tendo por base a equação 2-8:

$$I = [\sum_{i=1}^n (IQA_i)^p]^{\frac{1}{p}} \quad \text{Equação 2-8}$$

Em que:

I: IQA agregado

IQA<sub>i</sub>: subíndice do poluente i

p: constante

De acordo com a equação 2-8 quando p = ∞, o índice I é igual ao IQA<sub>i</sub> máximo de um único poluente, independentemente dos restantes valores de IQA. Por outro lado, se p = 1, o índice I é igual à soma de todos os IQA<sub>i</sub>.

Os subíndices são calculados da seguinte forma (equação 2-9):

$$IQA_i = IQA_s \left( \frac{q}{q_s} \right) \quad \text{Equação 2-9}$$

Em que:

IQA<sub>i</sub>: subíndice do poluente i

IQA<sub>s</sub>: coeficiente de escala igual a 500

q: concentração medida do poluente i

q<sub>s</sub>: concentração padrão

### 2.2.7. Índice de Qualidade do Ar e Saúde (IQAS)

O IQAS é uma ferramenta de auxílio na divulgação da qualidade do ar com vista à proteção da saúde, ajudando a tomar decisões perante a exposição de curto prazo à poluição do ar e a ajustar a atividades durante os períodos de maior perigo. Para além disso, este índice tem associado a si informação relativa a efeitos na saúde e conselhos para a sua proteção [3].

O IQAS é construído como a soma do excesso de risco de mortalidade associado aos vários poluentes, nomeadamente ao NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> e PM<sub>2,5</sub> a certas concentrações. É calculado, a cada hora, com base nas concentrações médias móveis de 3 horas.

A base científica para a formulação do IQAS baseia-se na investigação epidemiológica realizada pela *Health Canada* (Stieb *et al.*, 2008; Hasselback e Taylor, 2010), cujo cálculo é traduzido pela equação 2-10:

$$IQAS = \frac{10}{c} \sum_{i=1...p} 100 (e^{\beta_i X_i} - 1) \quad \text{Equação 2-10}$$

Em que:

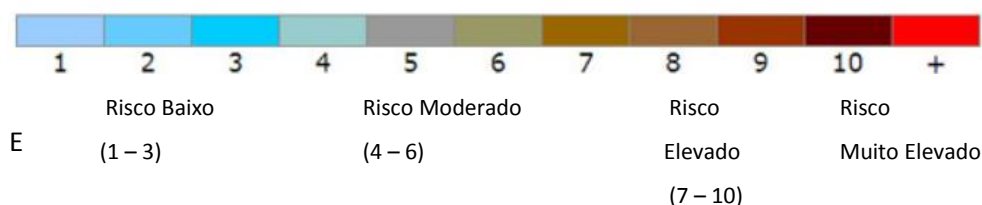
$\beta_i$ : coeficiente de regressão de *Poisson*;

$X_i$ : concentração do poluente  $i$ ;

$c$ : fator de escala.

Este método baseia-se na combinação dos riscos na saúde associados a cada um dos poluentes, diferindo dos IQA anteriores que determinam a qualidade do ar com base no maior valor de apenas um poluente [4].

O índice é expresso em relação aos seus efeitos na saúde e descrito numa escala de 1 a 10, sendo que, quanto maior for o número, maior é o risco para a saúde [3] (ver Figura 2.1).



**Figura 2.1:** Escala do Índice de Qualidade do Ar e Saúde. **Fonte:** [5].

ste

índice é originário do Canadá a ser usado em cerca de 10 cidades. Foi também adotado por Gibraltar e Hong Kong, com as devidas alterações/especificidades.

## 2.3. Análise comparativa dos diferentes IQA

Na Tabela 2.2 é apresentado um resumo dos principais índices de qualidade do ar existentes, permitindo assim uma melhor comparação entre estes.

**Tabela 2.2:** Resumo dos principais índices de qualidade do ar e diferenças entre eles.

Índice	Descrição	Países	Diferenças
<b>Baseado no IQA U.S.EPA</b>	Considera 4-6 Poluentes: - O <sub>3</sub> (1h e 8h) - PM10 e PM2,5 (24h) - CO (8h) - SO <sub>2</sub> (24h) - NO <sub>2</sub> (1h) Dividido em 5-6 níveis de preocupação com a saúde, definidos por cada país, de acordo, com a legislação; O maior índice individual por poluente determina a IQA do local.	<b>EUA</b>	
		<b>China</b>	
		<b>Índia</b>	Acrescenta o NH <sub>3</sub> e o Pb. O <sub>3</sub> base 1h
		<b>Brasil</b>	O <sub>3</sub> base 8h
		<b>Austrália</b>	O <sub>3</sub> base 1h e 4h; Acrescenta a visibilidade (fumos);
		<b>África do Sul</b>	Não inclui CO;
		<b>Finlândia</b>	Não inclui PM2,5 O <sub>3</sub> base 1h NO <sub>2</sub> e SO <sub>2</sub> base 1h e 24h CO base 1h e 8h
		<b>Portugal</b>	O <sub>3</sub> apenas 1h Não inclui PM2,5; SO <sub>2</sub> base 1h
		<b>Espanha</b>	SO <sub>2</sub> base 1h O <sub>3</sub> base 1h
		<b>Reino Unido</b>	SO <sub>2</sub> base 15 minutos Não inclui PM2,5
		<b>Bélgica</b>	Não inclui PM2,5 e CO O <sub>3</sub> base 8h
		<b>Alemanha</b>	SO <sub>2</sub> base 1h O <sub>3</sub> base 1h Não inclui PM2,5
<b>Índice de Qualidade do Ar Comum (IQAC)</b>	Desenvolvido pelo Projeto <i>Citeair</i> (2008); Pretende descrever a situação da qualidade do ar em cidades europeias de uma forma comparável e compreensível, permitindo diferenciar entre condições de tráfego e de fundo da cidade; O índice final é o valor mais alto dos subíndices para cada poluente, sendo a escolha das classes (5) inspirada na legislação europeia.	<b>Paris</b>	
		<b>Roma</b>	
		<b>Leicester</b>	
		<b>Roterdão</b>	
<b>Índice Novo de Qualidade do Ar (INQA)</b>	Foi desenvolvido por Bishoi <i>et al.</i> em 2009, e é baseado na análise fatorial dos principais poluentes, ou seja, nos principais fatores que fazem		

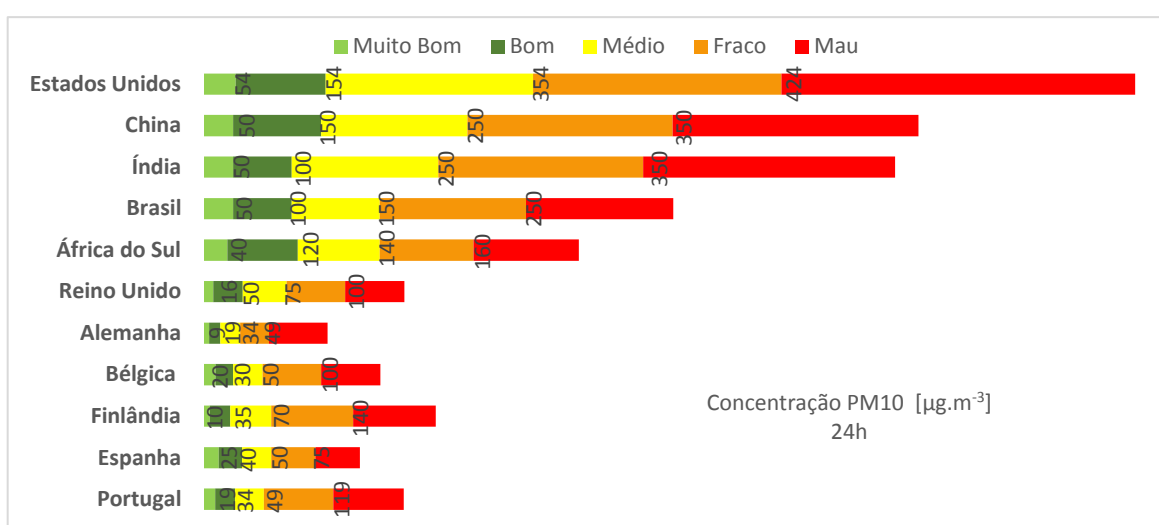
	com que o IQA varie.		
<b>Índice de Poluição (IP)</b>	Foi desenvolvido e aplicado por Cannistraro e Ponterio, em 2009; Baseia-se num simples indicador de qualidade do ar, num contexto urbano, sendo útil para comunicar aos cidadãos sobre o estado da qualidade do ar.	<b>Nápoles, Itália</b>	
<b>Índice de Poluição do Ar Integral (IPAI)</b>	Foi definido por Bezuglaya <i>et al.</i> , em 1993, para cidades russas. Consiste na soma de um número pré-selecionado dos maiores índices individuais de poluentes calculados através da normalização das concentrações de poluição relativamente à concentração máxima permitida (CMP).	<b>Cidades Russas</b>	
<b>Índice de Qualidade do Ar Agregado (IQAA)</b>	Foi proposto por Kyrkilis <i>et al.</i> , em 2007. Baseia-se nos efeitos causados pelos cinco principais poluentes (CO, NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> e PM10) de uma forma agregada, tendo em conta as normas europeias.	<b>Atenas, Grécia</b>	
<b>IQA e saúde (IQAS)</b>	É construído como a soma do excesso de risco de mortalidade associado aos vários poluentes, nomeadamente ao NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> e PM2,5 a certas concentrações. É calculado a cada hora com base nas concentrações médias móveis de 3 horas, e é ajustado para uma escala de 1 a 10.	<b>Canadá</b>	
		<b>Hong Kong</b>	Inclui o SO <sub>2</sub>
		<b>Gibraltar</b>	Não inclui as PM2,5 Inclui o CO e o SO <sub>2</sub>

A maioria dos países, em particular na Europa, adotou o IQA definido pela U.S. EPA com as devidas alterações/adequações. Apenas um pequeno número de países/cidades (Canadá, Hong Kong e Gibraltar) usa um índice direcionado diretamente para a saúde (IQAS). As principais diferenças entre os IQA estão relacionadas com o número e tipo de poluentes incluídos, o período de amostragem (relacionada com o nível de exposição) e os valores-limite considerados. Além disso, existem os casos da Austrália e da Índia, onde novos fatores estão incluídos, relacionados com fontes de poluição específicas de cada país: o caso dos incêndios na Austrália (a visibilidade está incluída na estimativa do IQA) e da indústria química e agricultura na Índia (NH<sub>3</sub> e Pb também são considerados para o cálculo do IQA).



Após a recolha e comparação dos IQA para vários países analisaram-se as suas diferenças, em termos de padrões de qualidade do ar, para os principais poluentes e classes do índice. Nas figuras seguintes mostram-se os resultados para PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, O<sub>3</sub> e NO<sub>2</sub> (poluentes atualmente considerados mais críticos), incluindo o número máximo de países com informações e inclusão de cada poluente disponível. A reclassificação para 5 classes foi necessária em alguns casos (países) para harmonizar esta comparação. Todas as tabelas relativas à construção das seguintes figuras encontram-se no Anexo I. Os restantes poluentes estudados (SO<sub>2</sub> e CO) encontram-se no Anexo I.

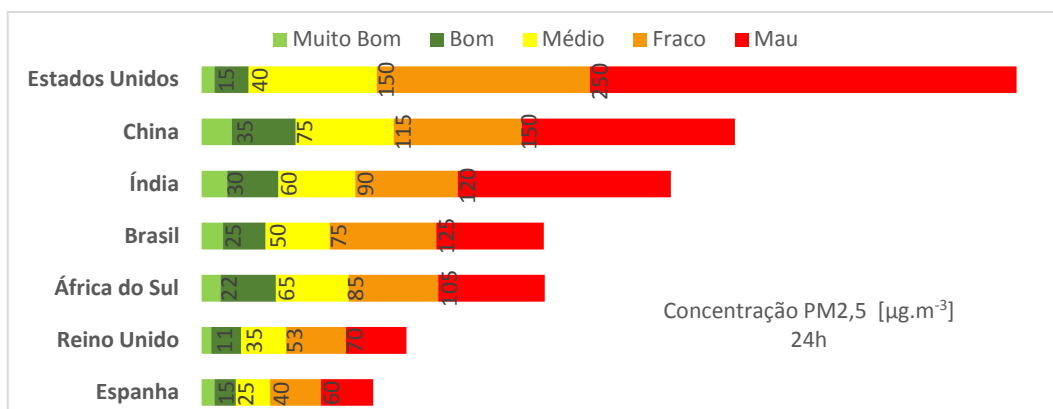
Na Figura 2.2 estabelece-se a comparação das classes do IQA relativamente às concentrações de PM<sub>10</sub>, numa base diária.



**Figura 2.2:** Comparação das classes do IQA relativamente às concentrações de PM<sub>10</sub> (24h), por categoria do IQA, por país.

Verifica-se que os EUA, a China e a Índia são os países que admitem maiores valores de concentração para PM<sub>10</sub> diário. Relativamente aos restantes países estes apresentam gamas mais baixas, pois levam mais em conta o elevado risco que são para a saúde humana. Em termos de comparação com Portugal, por exemplo, a gama de concentrações de 54-154  $\mu\text{g.m}^{-3}$  corresponde à categoria “Bom” para os EUA, enquanto que em Portugal a categoria “Mau” do IQA inicia-se a partir dos 120  $\mu\text{g.m}^{-3}$ . Estas diferenças são justificadas, sobretudo, pelos distintos valores limite de qualidade do ar definidos para estes países, sendo de 150  $\mu\text{g.m}^{-3}$  para os EUA e para o Brasil, de 100  $\mu\text{g.m}^{-3}$  para a Índia e de 50  $\mu\text{g.m}^{-3}$  para a União Europeia (Portugal) (Santana *et al.*, 2012).

A Figura 2.3 mostra as gamas de concentração por categoria do IQA correspondentes às PM<sub>2,5</sub>, constatando-se que os EUA, a China e a Índia são os países que estabelecem limites menos restritos para este poluente.

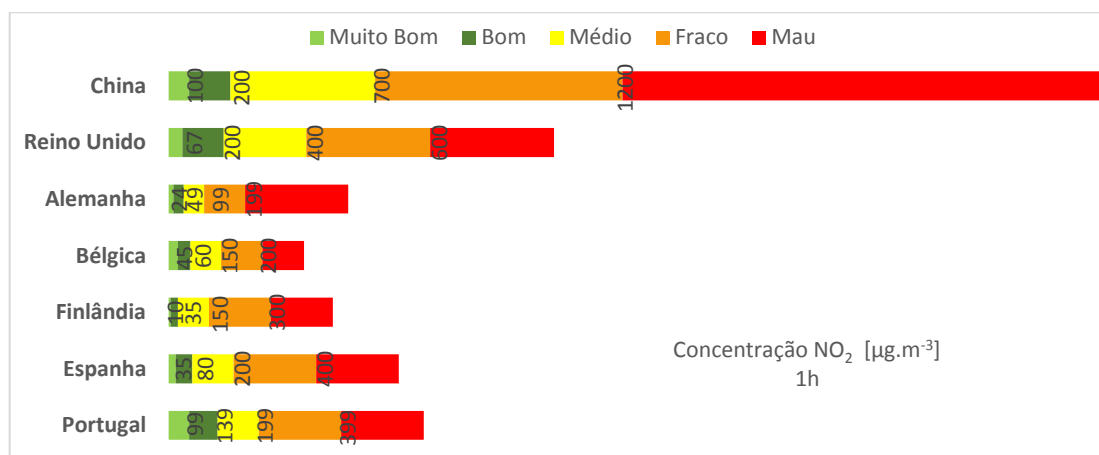


**Figura 2.3:** Comparação das classes do IQA relativamente às concentrações de PM<sub>2,5</sub> (24h), por categoria do IQA, por país.

A monitorização e inclusão no IQA de PM<sub>2,5</sub> (base diária) por alguns países revela preocupação com o aumento do risco para a saúde humana, pois apresentam um diâmetro menor comparativamente com as PM<sub>10</sub> e assim penetram mais facilmente no trato respiratório.

Analisando a legislação existente para este poluente, a padrão de qualidade do ar para a Índia é de 60  $\mu\text{g.m}^{-3}$  e para os EUA é de 35  $\mu\text{g.m}^{-3}$ , o que indica que os EUA embora admitam concentrações muito superiores são os menos tolerantes em relação ao limite aceitável (Santana *et al.*, 2012). Contudo, é de referir que ainda existem poucos países a incluírem este poluente no cálculo do IQA, como é o caso de Portugal [6].

Em termos de gamas de concentração para NO<sub>2</sub>, numa base horária (Figura 2.4), todos os países se encontram na mesma ordem de grandeza, exceto a China onde os valores limites de concentração são cerca de três vezes superiores comparativamente com Portugal, por exemplo.

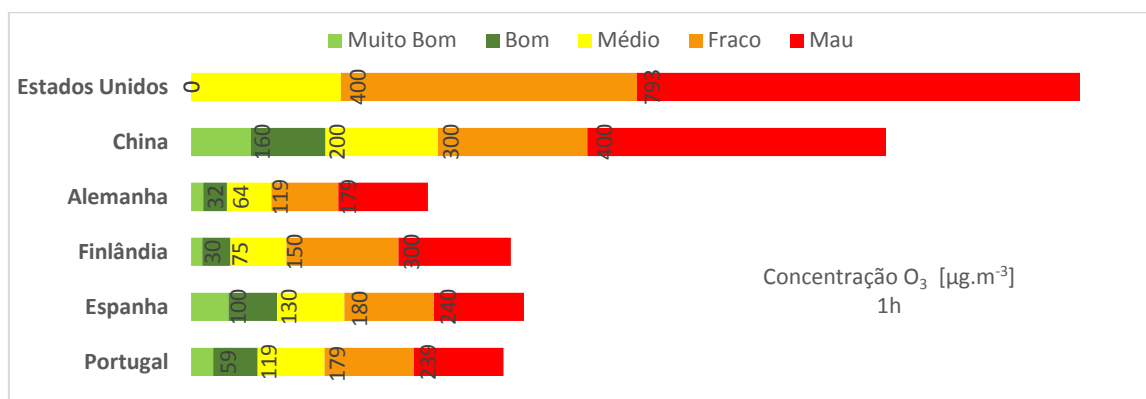


**Figura 2.4:** Comparação das classes do IQA relativamente às concentrações de NO<sub>2</sub> (1h), por categoria do IQA, por país.

Relativamente aos países europeus, a Finlândia apresenta as classes mais exigentes, seguindo-se Portugal, Bélgica e Espanha.

Tendo por base as normas de qualidade do ar para a União Europeia este é de  $200 \mu\text{g.m}^{-3}$  e para o Brasil este é de  $190 \mu\text{g.m}^{-3}$ .

Ao visualizar a Figura 2.5, relativa ao valor horário do  $\text{O}_3$ , constata-se que os países europeus são mais exigentes em relação às concentrações deste poluente (base horária).



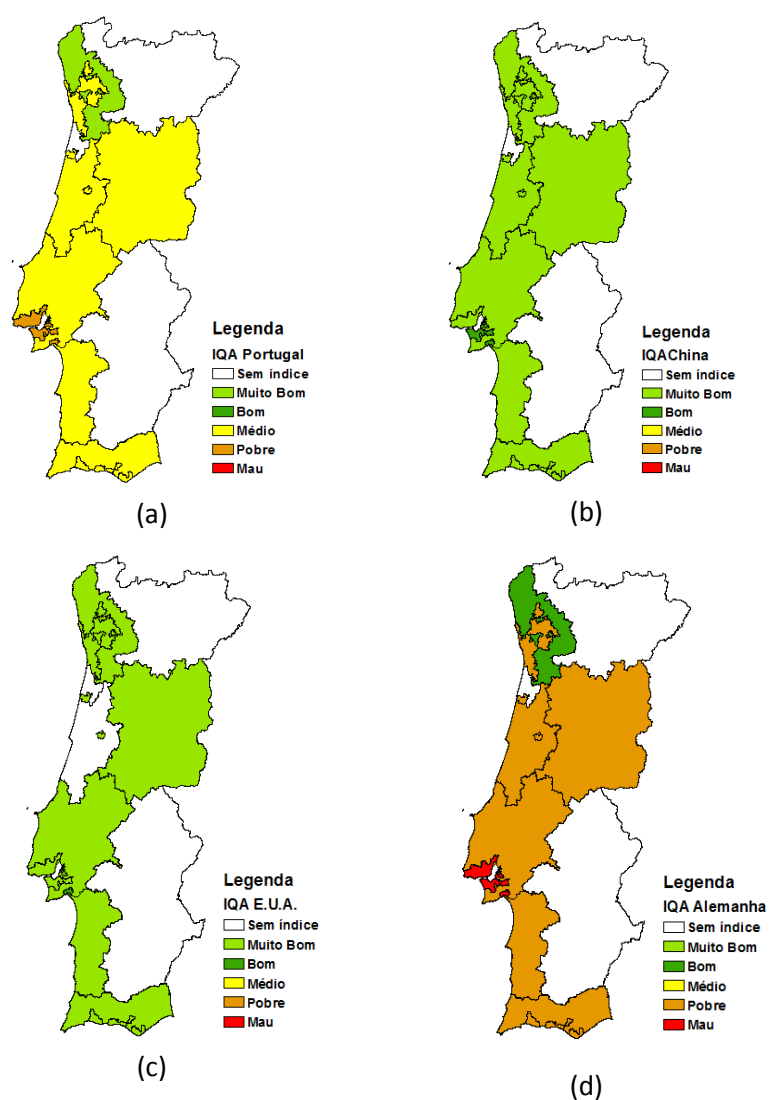
**Figura 2.5:** Comparação das classes do IQA relativamente às concentrações de  $\text{O}_3$  (1h), por categoria do IQA, por país.

Estabelecendo comparação com Portugal, a categoria “Mau” para Portugal corresponde ao “Médio” para a China. Os EUA não apresentam concentrações de  $\text{O}_3$  para as classes do índice abaixo de “Médio”.

De uma forma geral, os pontos de interrupção menos exigentes (valores de concentração mais elevados) são definidos por EUA, China e Índia, em relação aos diferentes poluentes analisados. Em média, esses pontos de interrupção são 2 vezes superiores aos dos países europeus (para  $\text{PM}_{10}$  é um fator de 3). Na Europa, existem pequenas diferenças entre as classes/intervalos definidos. Em geral, a Alemanha adota valores mais rigorosos (baixa concentração), quando comparado com outros países europeus.

A fim de melhor ilustrar estas diferenças encontradas nas classes dos IQA, calculou-se o IQA para um dia específico (15 dezembro 2015) em Portugal Continental, com base nas classificações adotadas pelos EUA, China, Alemanha e Portugal. A escolha deste dia deveu-se ao facto de apresentar diversas classes do IQA nas diferentes zonas/aglomerações, sendo assim uma mais valia para comparação com outros IQA.

Com base nas concentrações medidas em todas as estações de monitorização (fundo urbano, tráfego e industrial) existentes por todo o país obteve-se os dados necessários para a realização dos mapas existentes na Figura 2.6.



**Figura 2.6:** IQA observado em Portugal a 15 de dezembro de 2015 (a), calculado de acordo com: o IQA da China (b); o IQA dos EUA (c) e o IQA da Alemanha (d).

O poluente considerado mais crítico em praticamente todas as zonas/aglomerações foi as PM10, ditando assim a classe do IQA a que cada uma pertencia.

De acordo com o que já era esperado, existem grandes diferenças quando diferentes IQA são aplicados sobre a região de Portugal. Quando os IQA dos EUA e China são utilizados, observa-se que a classe "Muito bom" (cor verde) predomina sobre todo o território de Portugal, indicando, tal como já foi referido, que os EUA e a China são mais permissivos em relação à admissão de elevadas concentrações deste poluente. Quando se aplica o IQA alemão (mais exigente) o cenário é completamente oposto, ficando praticamente todo o território português indicando qualidade do ar "Pobre" (cor laranja). As Áreas Metropolitanas de Lisboa, já identificadas com o IQA português com qualidade do ar "Pobre", apresentam a pior classificação quando se aplica o IQA Alemão ("Mau").

Das análises efetuadas anteriormente constata-se que existem muitas diferenças no IQA de país para país sendo assim, uma mais valia, a sua uniformização para poder-se estabelecer comparações entre os mesmos. A União Europeia tem vindo a desenvolver trabalho sobre esta questão e procura atualmente elaborar um protótipo de um IQA para os Estados Membros.

### 3. Proposta de reformulação do IQA para Portugal

A preocupação em reavaliar (e eventualmente reformular) o presente IQA é assumida pela União Europeia (EU) que tem vindo a desenvolver trabalho nesse sentido, e que procura atualmente a elaboração de um protótipo de um IQA Comum para os Estados Membros.

Nesta secção é apresentada uma proposta de reformulação do IQA para Portugal tendo por base um questionário/inquérito realizado a todas as CCDRs com o objetivo de identificar vantagens e limitações da metodologia atual, bem com compilar sugestões de melhoria. As duas principais recomendações apontadas pelas CCDRs foram especificamente avaliadas nesta secção, nomeadamente a inclusão de PM<sub>2,5</sub> e a existência de um IQA distinto para zonas urbanas/industriais.

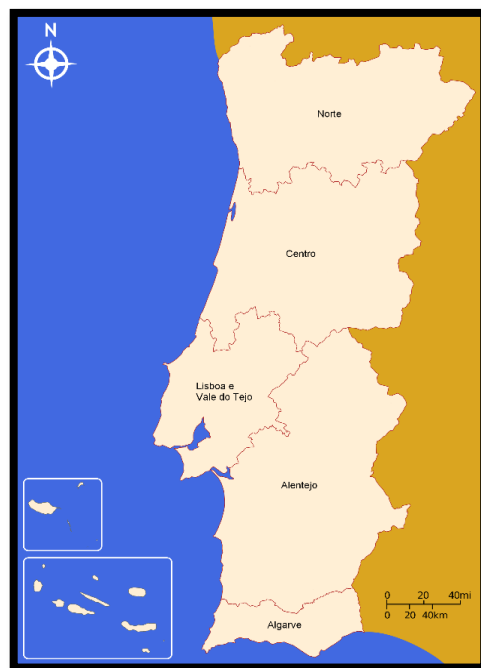
#### 3.1. Questionário às CCDRs

Tendo em conta que em Portugal são as CCDRs as entidades responsáveis pela monitorização e gestão da qualidade do ar ao nível regional, elaborou-se, juntamente com a Agência Portuguesa do Ambiente, um questionário no sentido de identificar eventuais problemas do IQA atual e possíveis medidas para a sua reformulação.

O questionário foi elaborado, no âmbito desta tese, com base nas questões avançadas pelo atual grupo de trabalho da EU (Cuesta, 2015) para estas questões. Algumas das questões já propõem, por si só, a melhoria, como, por exemplo, o desenvolvimento, ou não, de uma “app”, bem como, a inclusão no IQA de informação sobre eventos naturais.

O questionário foi enviado eletronicamente a todas as CCDRs, nomeadamente: CCDR Norte, CCDR Centro, CCDR Lisboa e Vale do Tejo, CCDR Alentejo e CCDR Algarve. Todas contribuíram com as respostas e sugestões.

Na Figura 3.1. apresenta-se um mapa de Portugal com a abrangência de cada CCDR e na Figura 3.2 o questionário enviado a todas as CCDRs.



**Figura 3.1:** Mapa de Portugal com a área de abrangência de cada CCDR.

**Questionário para avaliação do desempenho do IQA**

**Questão 1:** Que poluentes devem estar incluídos no IQA?

**Questão 2:** IQA global ou por poluente?

**Questão 3:** IQA relativo a que área geográfica? Como englobar as várias medições/IQA dessa área?

**Questão 4:** Acha correto incluir dados modelados quando não há medição de um dado poluente ou falhas de informação?

**Questão 5:** As classes do IQA devem ser em função da legislação ou da recomendação da OMS?

**Questão 6:** Qual o número ideal de classes? 5?

**Questão 7:** O nome das classes deve ser relativo "à qualidade do ar" (boa-má) ou à poluição (muito-pouco)?

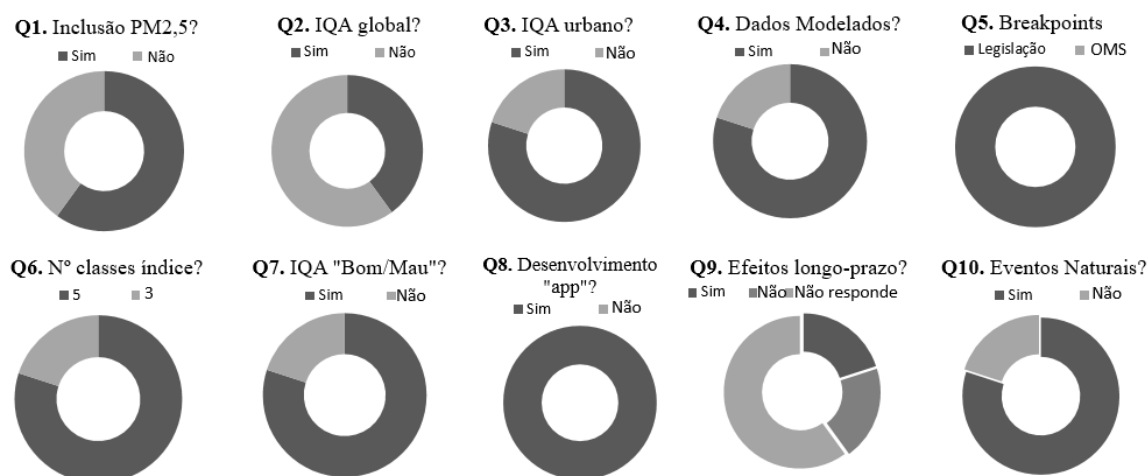
**Questão 8:** Concorda com o desenvolvimento de uma "app" para divulgação do IQA?

**Questão 9:** Concorda em haver um índice de efeitos de longo-prazo? (ex: para o caso do O<sub>3</sub>)?

**Questão 10:** Concorda em incluir no IQA a informação sobre eventos naturais (ex. poeiras Sahara)?

**Figura 3.2:** Questionário enviado às CCDRs.

As respostas obtidas foram tratadas de forma a facilitar a análise dos resultados e apresentam-se na Figura 3.3.



**Figura 3.3:** Resultados do questionário para cada questão.

Em geral, analisando a Figura 3.3, apenas há consenso relativamente a duas questões: sobre as classes do IQA baseadas em valores-limite legislados (e não sobre as recomendações da OMS) e sobre a necessidade de desenvolver uma “app” para divulgar a informação. As restantes questões exibem um acordo de maioria (mais de 60%), com exceção da pergunta sobre a inclusão dos efeitos a longo prazo, com uma grande percentagem de “não responde” (que deverá ser interpretado como falta de conhecimento para responder à questão).

Algumas das questões revelam que não é necessária nenhuma mudança, em particular: número de classes (5); classes/intervalos definidos de acordo com a legislação e classificação de “boa/má” relativamente à qualidade do ar.

As principais mudanças sugeridas incluem:

- a inclusão de PM2,5 e de eventos naturais;
- IQA com informações relacionadas com cada poluente;
- desenvolvimento de um IQA específico para áreas tráfego / industriais;
- inclusão de dados modelados em caso de ausência de dados medidos.

Um novo IQA é então assim proposto com base nestes resultados e nas mudanças sugeridas. O impacto de algumas destas alterações é estudado na seção seguinte.

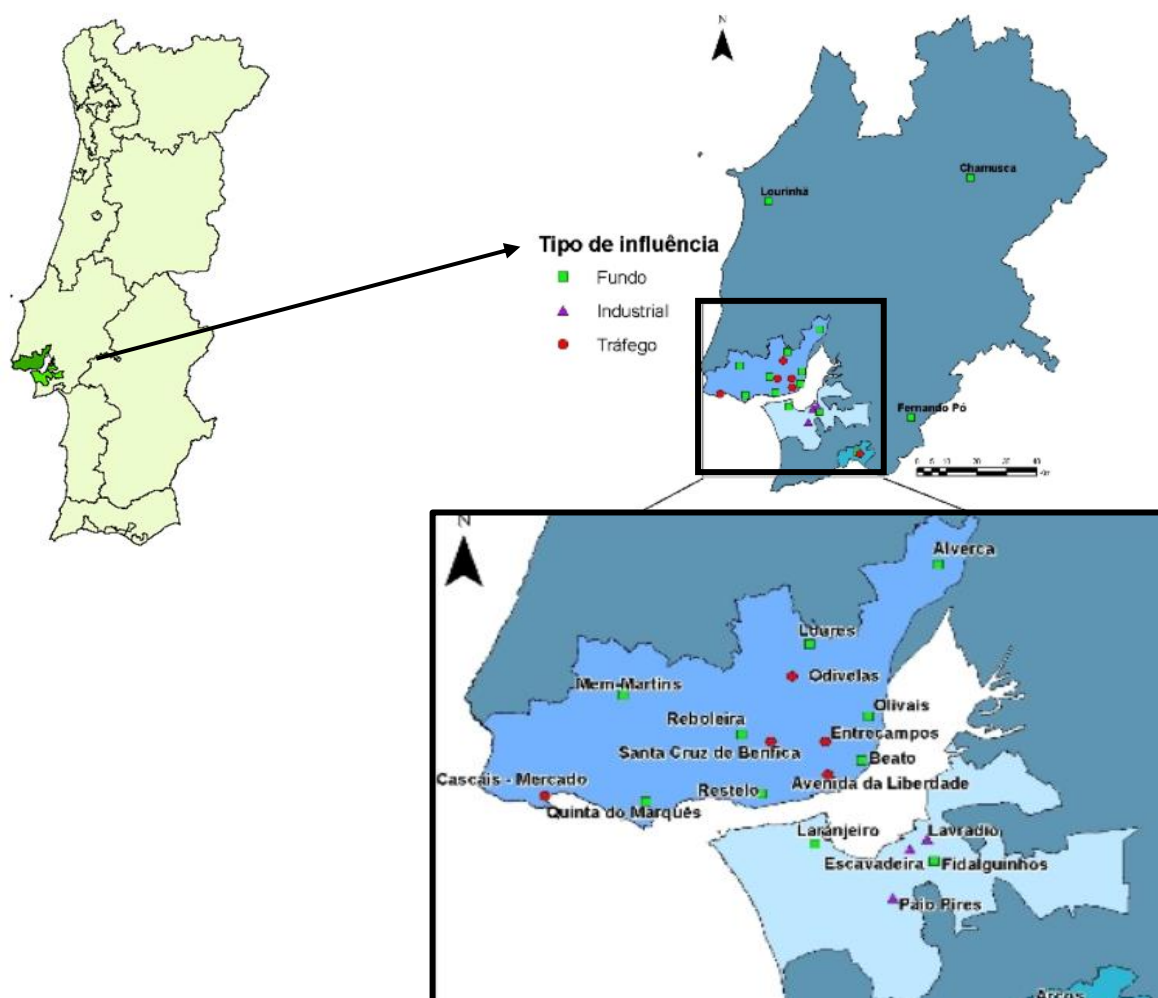


### 3.2. Avaliação da inclusão de alguns aspetos

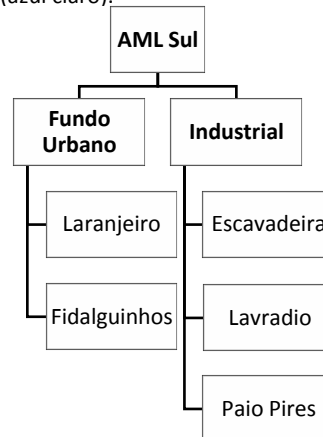
As duas propostas relacionadas com a inclusão de eventos naturais (utilizando as informações sobre os eventos de poeira mineral obtidos por modelos numéricos) e de valores modelados da qualidade do ar, caso não estejam disponíveis dados monitorados, são particularmente fáceis de implementar sobre a região Portugal, pois há dados modelados acessíveis no modo de previsão [7].

As outras duas recomendações - inclusão de PM<sub>2,5</sub> e IQA distinto para as zonas urbanas / industriais específicas - foram testadas para a Área Metropolitana de Lisboa (AML) que se encontra dividida em duas aglomerações: AML Norte e AML Sul.

Na figura 3.4 é apresentado um esquema com a localização das estações de monitorização existentes na AML Norte e na AML Sul. Na Figura 3.5, são apresentadas todas as estações de monitorização utilizadas para cada aglomeração, estando diferenciadas as que são de fundo urbano, de tráfego e industriais.



**Figura 3.4:** Localização das estações de monitorização existentes na AML Norte (azul escuro) e AML Sul (azul claro).



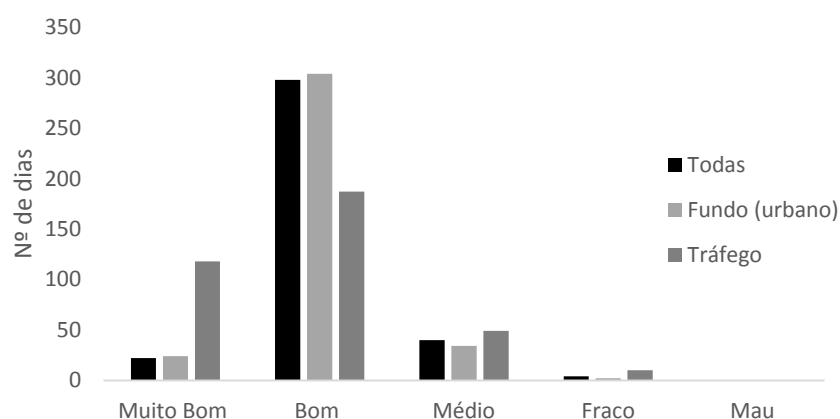
**Figura 3.5:** Estações de monitorização estudadas presentes na AML Norte e Sul.

Para um período de um ano (2014), estudou-se o comportamento do IQA antes e depois das alterações. O ano escolhido foi o 2014 pois era o ano que até à data do tratamento dos dados apresentava os dados já validados. Os resultados, em termos das diferenças encontradas entre o índice atual e o revisto, são mostrados nas Figuras 3.6 a 3.9.

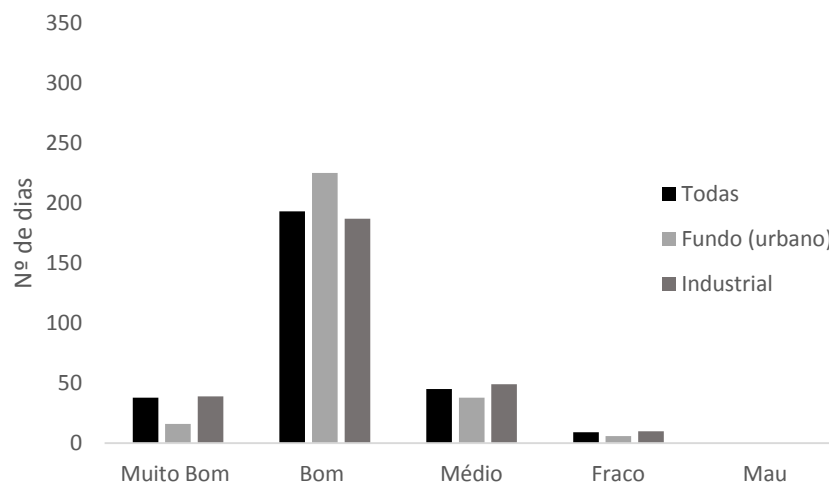
Para as análises seguintes foram consideradas todas as estações enunciadas anteriormente, apenas foram excluídas aquelas que não apresentavam dados consistentes para o estudo ou, simplesmente não monitorizavam certos poluentes. Os poluentes utilizados para o estudo foram, nomeadamente, PM10, PM2,5, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> e CO.

### 3.2.1. IQA por tipo de estação

As Figuras 3.6 e 3.7 mostram o IQA obtido quando todas as estações de monitorização estão incluídas no seu cálculo e quando apenas são consideradas estações de tráfego (no caso da AML Norte) e estações industriais (no caso da AML Sul).



**Figura 3.6:** Comparação do IQA considerando todas as estações da AML Norte, apenas as de fundo e apenas as de tráfego.



**Figura 3.7:** Comparação do IQA considerando todas as estações da AML Sul, apenas as de fundo e apenas as industriais.

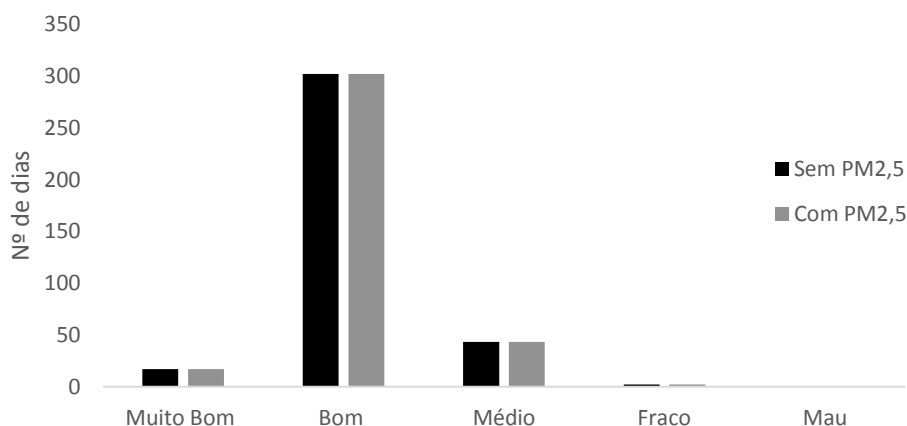
Esta análise demonstra a sensibilidade dos resultados obtidos no cálculo do IQA em função dos diferentes tipos de estações consideradas. Quanto à inclusão, ou não, das estações de tráfego, há uma ligeira deterioração do IQA quando o índice é calculado incluindo todas as estações, em vez de apenas as áreas de fundo (<10% dias no total) e ainda maiores quando

apenas as estações de tráfego são consideradas. No entanto, os ambientes de tráfego apresentam maior número de dias com IQA "muito bom", o que se explica pela ausência de monitorização de  $O_3$  nestes locais que, devido aos níveis superiores deste poluente nos locais urbanos de fundo, é responsável pelo IQA inferior. No que se refere à inclusão de estações de monitorização do tipo industrial, foi encontrado um resultado também interessante: uma queda do IQA é observada para a maior parte dos dias (IQA "Bom"), mas, novamente, para a gama de "Muito bom" existe um maior número de dias exibindo para instalações industriais, o que é explicado pelos valores de concentração de  $NO_2$  baixos quando comparados com outros sítios urbanos de fundo.

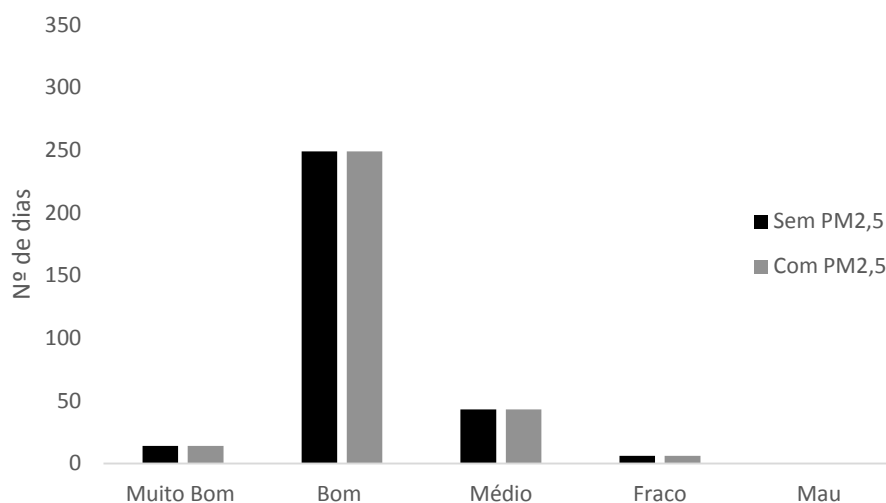
### 3.2.2. Inclusão das $PM_{2,5}$ no cálculo do IQA

Na avaliação deste aspeto é importante salientar que as  $PM_{2,5}$  apenas apresentam um valor limite anual de  $25 \mu g.m^{-3}$ , pelo que, para esta análise foram consideradas as classes do IQA de Espanha numa base diária. Nesta análise foram contabilizadas todas as estações de monitorização independentemente do seu tipo, com a exceção, da inclusão ou não, da monitorização de  $PM_{2,5}$  (AML Norte monitoriza  $PM_{2,5}$  em 3 estações e a AML Sul monitoriza em 2 estações).

As Figuras 3.8 e 3.9 mostram a comparação do cálculo do IQA quando são incluídas, ou não, as concentrações de  $PM_{2,5}$ .



**Figura 3.8:** Comparação do cálculo do IQA para a AML Norte com a inclusão ou não de  $PM_{2,5}$ .



**Figura 3.9:** Comparação do cálculo do IQA para a AML Sul com a inclusão ou não de PM2,5.

Em relação à inclusão de PM2,5 no cálculo do IQA, não foi observada nenhuma variação em ambas as regiões em estudo (AML Norte e AML Sul). A mesma conclusão foi observada quando este exercício comparativo foi estendido para as outras estações de monitorização distribuídas ao longo do país. Contudo, o mesmo não foi encontrado para outros países; o que pode ser justificado pela predominância de uma fração grosseira de PM10 sobre Portugal (Cheng *et al.*, 2007; Elshout *et al.*, 2014). No entanto, esta inclusão poderá justificar-se para garantir que o novo modelo de IQA proposto estime de forma mais eficaz a exposição dos cidadãos comparando com o índice atual, uma vez que conta com o impacto de todos os poluentes medidos.

## 4. Previsão da Qualidade do Ar em Portugal – Eventos Naturais

O sistema de previsão da qualidade do ar [7] atualmente em operação em Portugal, desenvolvido por Monteiro *et al.* (2005), teve como melhoria recente a incorporação de um módulo de prognóstico de poeiras, que permite fazer a previsão dos eventos de poeiras e adicionar essa informação ao IQA previsto. Neste capítulo irá estudar-se a contribuição das poeiras dos desertos do Norte de África (doravante designadas por “eventos naturais”) para os níveis de PM<sub>10</sub> registados em Portugal. Irá também analisar-se o desempenho do sistema de previsão da qualidade do ar em Portugal e mais propriamente do módulo “*dust*” recentemente incorporado, no que respeita à previsão desses eventos naturais, para o período entre novembro de 2015 e março de 2016.

### 4.1. Sistema de Previsão da Qualidade do Ar

A modelação da dispersão e transformação de poluentes atmosféricos tem-se mostrado uma ferramenta bastante útil na descrição de fenómenos de poluição, e contribuindo para a elaboração de planos e programas que permitem atenuar os impactes associados à poluição atmosférica. Com o aumento do desenvolvimento tecnológico, foi possível melhorar a capacidade de resolução dos modelos e, desta forma, ter uma maior aproximação da realidade.

Atualmente a modelação da qualidade do ar já não é apenas uma ferramenta de diagnóstico (Monteiro *et al.*, 2007) possibilitando tanto a previsão operacional como a de cenários futuros.

Em Portugal existem dois sistemas de previsão: o sistema estatístico da FCT-UNL e o sistema determinístico da UA. O sistema estatístico baseia-se em análises da regressão linear múltipla (RM) e da regressão em árvore (CART), estimando as concentrações médias diárias de PM<sub>10</sub>, bem como as concentrações máximas diárias de O<sub>3</sub>, para o dia seguinte (Neto *et al.*, 2005), a partir de um conjunto de dados meteorológicos e de qualidade do ar medidos. O modelo determinístico, composto pelo modelo meteorológico WRF (Skamarock *et al.*, 2008) e pelo modelo químico CHIMERE (Bessagnet *et al.*, 2004; Menut *et al.*, 2013; Schmidt *et al.*, 2001), integra as previsões das variáveis meteorológicas necessárias, o inventário de emissões, as características do domínio e o conhecimento físico-químico da dispersão de poluentes atmosféricos (Monteiro *et al.*, 2005). O sistema determinístico é o alvo principal de estudo neste trabalho pois desde novembro de 2015 foi incluído um novo módulo referente à modelação das

poeiras provenientes dos desertos Africanos. Em ambos os sistemas, a previsão da qualidade do ar é fornecida quantitativamente, através de valores de concentrações das espécies poluentes, para além da sua expressão em termos de IQA.

O sistema numérico de modelos utiliza a técnica de *nesting* unidirecional: é efetuada uma primeira simulação à escala continental (com uma resolução de malha de 125x125 km<sup>2</sup>; seguida de uma simulação à escala da Península Ibérica (com resolução de 25x25 km<sup>2</sup>); e finalmente é efetuado uma simulação de alta resolução para o domínio de Portugal, com um espaçamento de malha de 5x5 km<sup>2</sup> (ver Figura 4.1). Este conjunto de domínios foi definido de forma a incluir todo o norte de África para a simulação das poeiras do deserto do Sahara e a chegar a uma resolução elevada (5x5 km<sup>2</sup>) para Portugal Continental.



**Figura 4.1:** Domínios de simulação usados para a previsão da qualidade do ar para Portugal.

Relativamente aos dados de emissões, é usado o inventário de emissões EMEP [8]. Este inventário inclui todas as emissões antropogénicas, desagregadas por setor SNAP (*Selected Nomenclature for Sources of Air Pollution*). Em relação às emissões biogénicas, o modelo considera emissões de isopreno e terpenos. Adicionalmente, o modelo considera os aerossóis marinhos, e recentemente também as emissões de poeiras do deserto por ação do vento (foco deste capítulo). As emissões de poeiras do deserto, são calculadas com base na metodologia descrita em Menut *et al.* (2013), utilizando os dados apresentados na Tabela 4.1.

**Tabela 4.1:** Dados necessários para o cálculo das emissões de poeiras.

Parâmetro	Unidades	Observações
Composição do solo	% argila; % lodo; % areia	Parâmetro fixo (constante)
Comprimento da rugosidade do solo	cm	Parâmetro fixo (constante)
Erodibilidade do solo	%	Parâmetro fixo (constante)
Velocidade do vento a 10 m	m/s	Parâmetro variável (dado de entrada do modelo)

Os parâmetros necessários para o cálculo das emissões de poeiras incluem informações referentes a características do solo, tais como, a composição, a erodibilidade e o comprimento de rugosidade e, a velocidade do vento a 10 m.

## 4.2. Seleção de episódios de eventos

A identificação e avaliação de eventos naturais tem vindo a ser efetuada e permite:

- Inventariar aos dias para os quais se identificou a ocorrência de fenómenos naturais;
- Quantificar a contribuição do fenómeno natural para a média diária e anual de PM<sub>10</sub>;
- Avaliar a redução no número de dias em excedência ao valor-limite diário de PM<sub>10</sub>;
- Avaliar a redução das estações em excedência ao valor-limite anual de PM<sub>10</sub>;
- Averiguar que estações de monitorização de qualidade do ar passam a estar em cumprimento legal, relativamente ao poluente PM<sub>10</sub>.

### 4.2.1. Metodologia

Existe uma metodologia (Melorose *et al.*, 2011), proposta pela EU com base em Querol *et al.*, (2010), para a quantificação de eventos e do seu contributo para os níveis de PM<sub>10</sub>.

A metodologia de cálculo da contribuição das PM<sub>10</sub> de origem natural pode ser sistematizada de acordo com as seguintes etapas:

**1º** - Identificam-se os dias com ocorrência de evento natural

Esta identificação é realizada com base em dados medidos nas estações de qualidade do ar e em imagens LIDAR e dados modelados. Os modelos utilizados são:

- Modelo BSC-DREAM8b *Atmospheric Dust Forecast System* (Basart *et al.*, 2012) que indica a concentração à superfície de poeira mineral transportada pelo ar com origem nos desertos Africanos ou outros modelos como SKIRON;



- Retrotrajetórias do modelo de dispersão *HYSPLIT* (Draxler e Rolph, 2003) (*Hybrid Single – Particle Lagrangian Integrated Trajectory*), que indica que a proveniência da massa de ar no local das estações de monitorização, a vários níveis de altitude;

**2º** - Para cada uma das regiões seleciona-se uma estação rural de fundo representativa

Na Figura 4.2 identificam-se as estações representativas de monitorização rural de fundo por região (Ferreira *et al.*, 2015) em Portugal Continental.

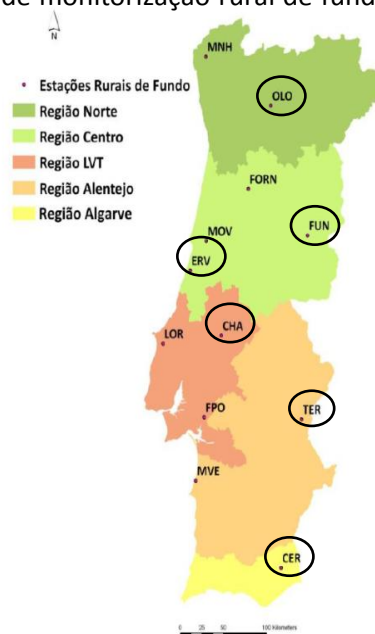
OLO: Lamas de Olo (região Norte),

FUN e ERV: Fundão e Ervedeira (região Centro),

CHA: Chamusca (região de Lisboa e Vale do Tejo)

TER: Terena (região Alentejo),

CER: Cerro (região Algarve).



**Figura 4.2:** Regiões e estações rurais de fundo utilizadas para a quantificação da contribuição de eventos naturais no território de Portugal Continental (Ferreira *et al.*, 2015).

**3º** - Cálculo da contribuição da fração natural

Para cada dia de evento natural identificado, em cada estação regional de fundo selecionada como representativa, determina-se o percentil 40 dos 30 dias centrados nesse dia de evento (sendo o dia de evento o 15.º e não se incluindo o valor registado neste dia no cálculo do percentil).

A diferença entre o valor de PM10 registado no dia de evento e o percentil 40 desse dia corresponde à contribuição de PM10 de origem natural.

**4º** - A contribuição calculada a partir da estação rural de fundo representativa de cada secção é posteriormente subtraída às concentrações médias diárias de todas as estações de cada região.

Se uma dada estação estiver em excedência e, após a subtração do evento natural, a concentração se tornar inferior ao valor-limite diário, então considera-se que essa excedência foi causada pela intrusão de ar africano. Igualmente, para uma determinada estação em excedência do valor-limite anual, a que lhe apliquem os descontos diários devidos a eventos naturais, e esta

ficar abaixo do valor-limite, também essa excedência anual se considera como devida a fonte de emissão naturais.

#### 4.2.2. Identificação dos eventos

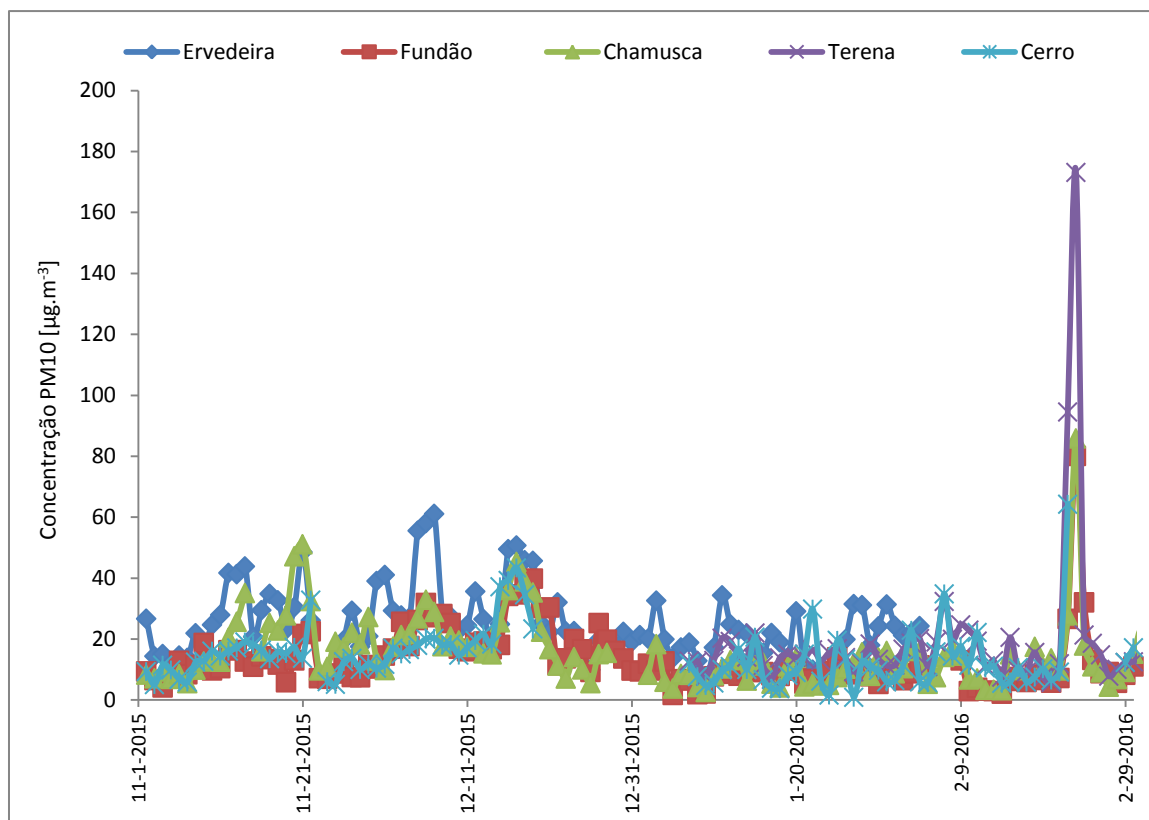
Na Tabela 4.2 são apresentados os dias de eventos naturais para o período temporal em estudo, reportados pela APA, com base na metodologia descrita anteriormente.

**Tabela 4.2:** Lista dos dias de eventos naturais para o período temporal em estudo.

Ano 2015		Ano 2016	
Mês	Data	Mês	Data
Novembro	20/11/2015	Janeiro	24/01/2016
	02/12/2015		25/01/2016
Dezembro	03/12/2015		26/01/2016
	04/12/2015	Fevereiro	05/02/2016
	08/12/2015		06/02/2016
	09/12/2015		20/02/2016
	10/12/2015		21/02/2016
	12/12/2015		22/02/2016
	13/12/2015		23/02/2016
	14/12/2015		
	15/12/2015		
	16/12/2015		
	17/12/2015		
	18/12/2015		
	19/12/2015		
	20/12/2015		
	21/12/2015		
	22/12/2015		
	23/12/2015		
	25/12/2015		
	26/12/2015		
	27/12/2015		
	28/12/2015		

Foram identificados, 7 eventos, que representam 27% dos dias do período em análise. A maioria dos eventos ocorre no mês de dezembro, mas é no mês de fevereiro que têm maior expressão. Com o objetivo de melhor compreender o contributo dos eventos naturais para os

níveis de PM10 apresentam-se na Figura 4.3 os valores médios diários de PM10 registados, entre novembro de 2015 e março de 2016, nas várias estações de fundo representativas.



**Figura 4.3:** Concentrações médias diárias de PM10 registadas nas diferentes estações rurais de fundo representativas.

Os episódios de poeiras sobre as regiões mediterrânicas são muitas vezes precedidos por intensas advecções atlânticas que induzem baixos níveis de partículas em suspensão. O aumento abrupto dos níveis de partículas registadas nas redes de qualidade do ar é causado pela rápida expansão da massa de ar proveniente de África, com um gradiente de pressão elevado entre o Atlântico e o Mediterrâneo (Marelli, 2007).

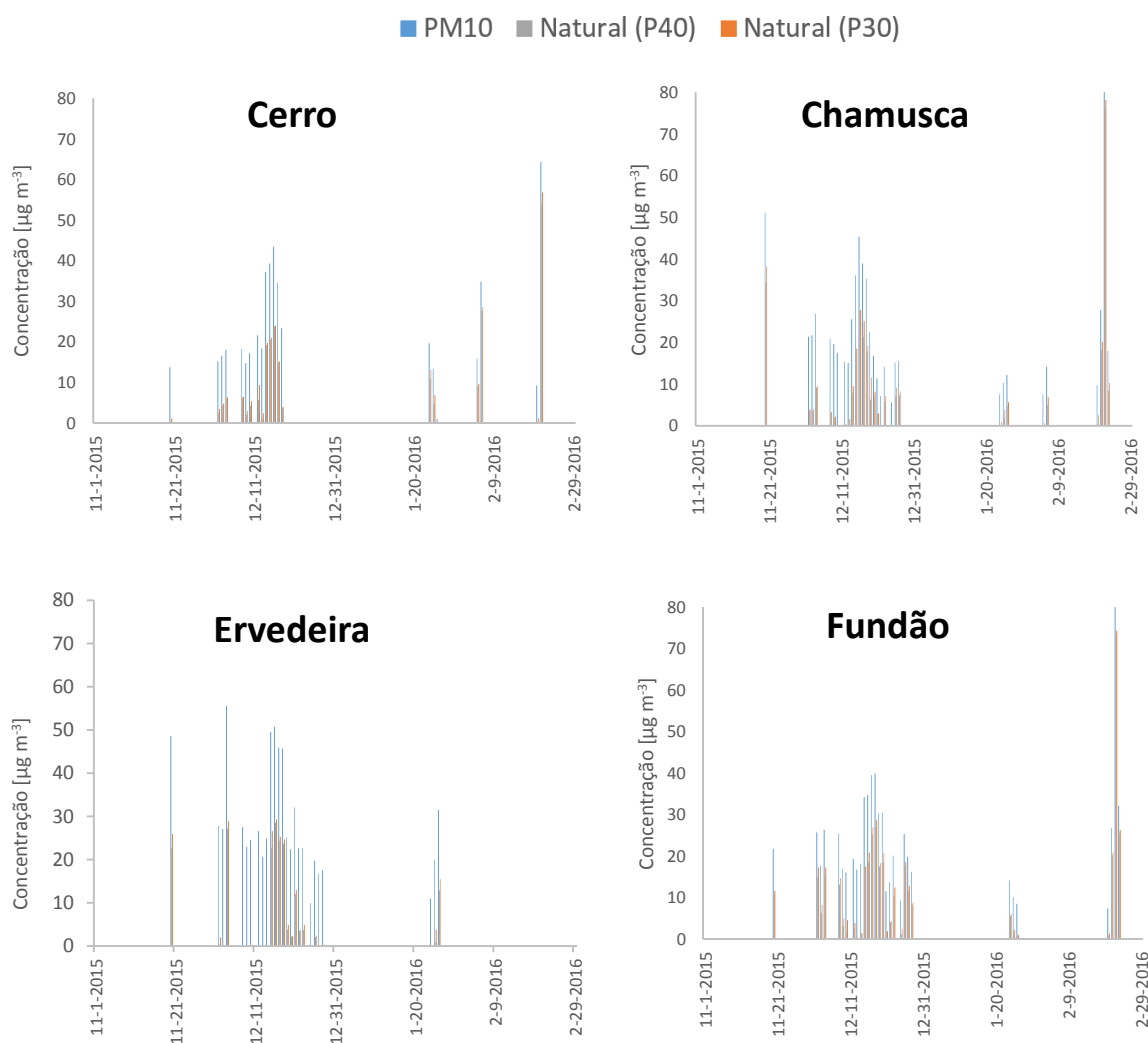
A análise da Figura 4.3 permite identificar dois períodos pronunciados de eventos naturais nas diferentes estações rurais de fundo representativas: o mês de dezembro e os dias 20 a 23 de fevereiro.

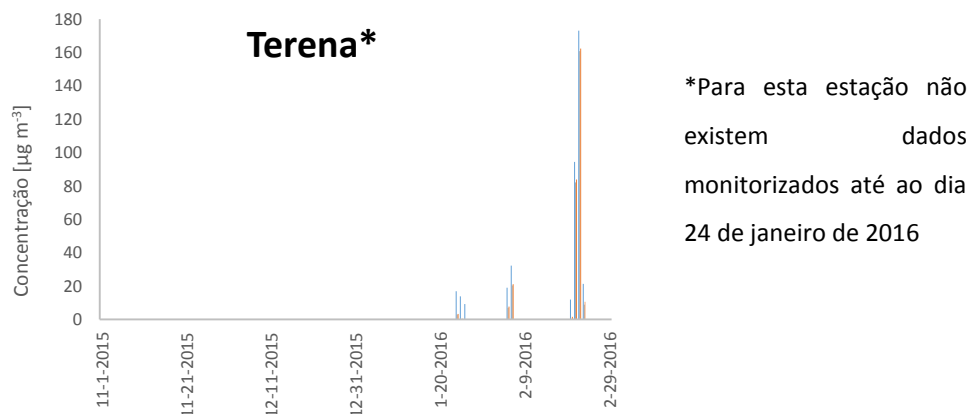
#### 4.2.2. Quantificação do contributo dos eventos naturais

Com base na informação da Tabela 4.2 e recorrendo aos valores de PM10 registados nas 5 estações rurais de fundo representativas (Chamusca, Terena, Cerro, Ervedeira e Fundão), quantificou-se a contribuição do fenómeno natural para a média diária de PM10. O cálculo do contributo dos eventos para os níveis de PM10 baseou-se na metodologia descrita. A estação rural de fundo de Lamas de Olo não consta da lista devido à ausência de dados monitorizados para este período.

Atendendo a que alguns estudos (e.g. Escudero *et al.*, 2007) referem o percentil 30 em vez do 40, optou-se por calcular a contribuição natural usando os dois percentis para perceber qual a diferença entre os mesmos.

Na Figura 4.4 é apresentada a contribuição natural estimada, para cada dia de evento natural, diferenciando o percentil usado e a estação de monitorização.





**Figura 4.4:** Concentração de PM10 medida e respetiva contribuição natural para cada estação rural de fundo representativa.

Em todas as estações analisadas há um contributo relevante de proveniente dos desertos do Sahara e Sahel nos valores de PM10 medidos, que pode atingir os 80%.

De uma forma geral, a diferença existente entre os dois percentis considerados é pouco notória, sendo os resultados obtidos praticamente semelhantes. O uso do percentil 40 na metodologia adotada para desconto da contribuição natural é consistente.

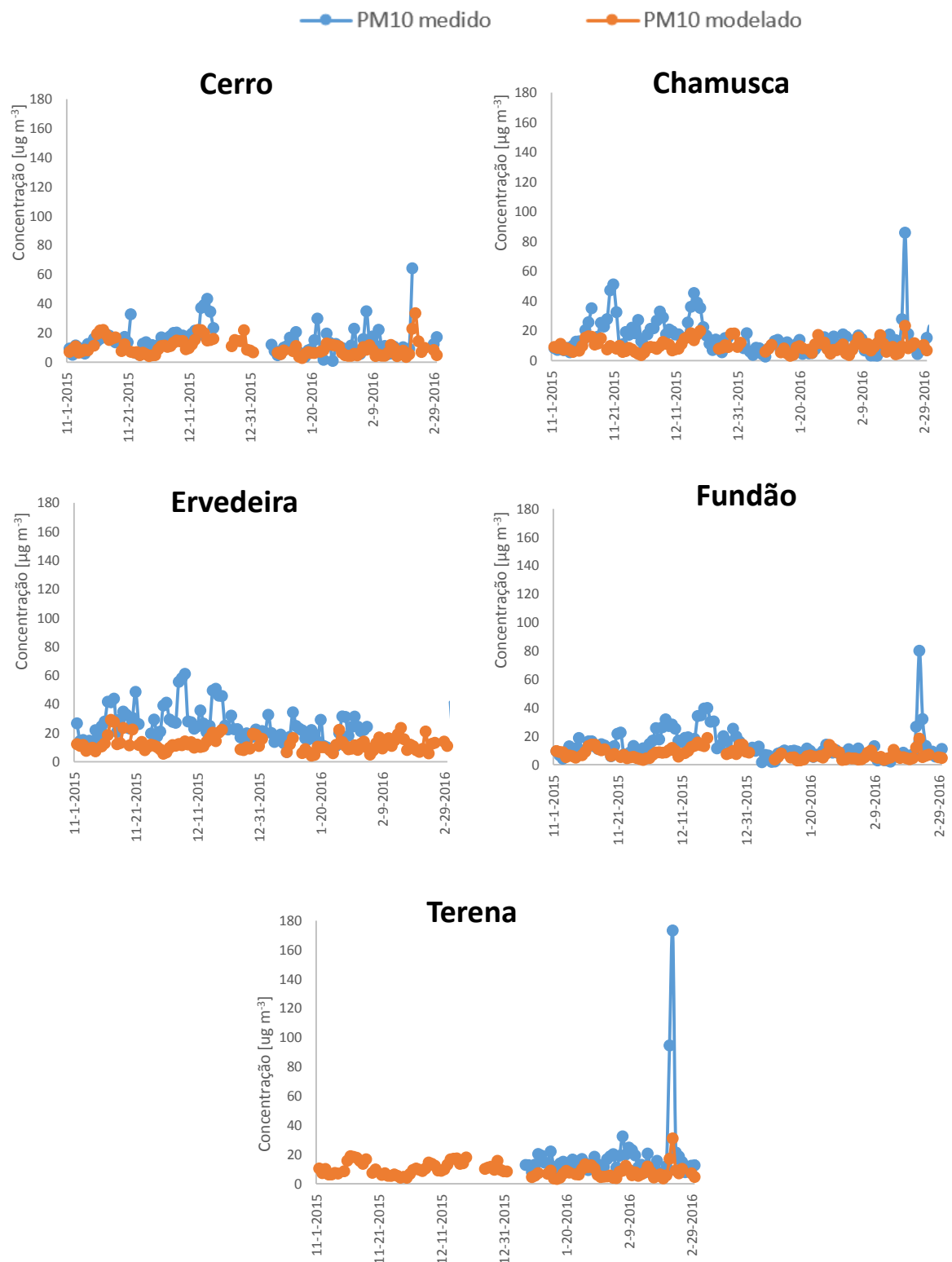
É importante notar que a metodologia até aqui apresentada tem uma base empírica. Na secção seguinte irá apresentar-se o sistema de previsão da qualidade do ar operacional, que inclui um módulo de modelação das poeiras do deserto. Esta abordagem, por oposição à até aqui apresentada, tem uma base determinística.

### 4.3. Avaliação do Sistema de Previsão

Independentemente do seu tipo de aplicação, todos os modelos de qualidade do ar necessitam de ser avaliados para que os seus resultados possam ser utilizados com confiança, quer ao nível científico, quer como suporte de decisões estratégicas políticas com consequências diretas na saúde e na economia.

A fim de apoiar o uso dos resultados do sistema de previsão para o prognóstico da poeira mineral sobre a região de Portugal, foi realizada a sua validação comparando a concentração de PM10 modelada e a concentração de PM10 medida nas estações de monitorização, entre o dia 1 de novembro de 2015 e o dia 29 de fevereiro de 2016, período que inclui os eventos naturais selecionados para as várias estações rurais de fundo representativas.

A Figura 4.5. mostra as concentrações de PM10 medidas e as modeladas, para o período temporal em estudo, para as estações rurais de fundo representativas.



**Figura 4.5:** Concentrações médias diárias medidas e simuladas de PM10 para as estações representativas de fundo rural.

A análise da Figura 4.5 permite concluir que o modelo deteta o pico associado à intrusão de poeira proveniente dos desertos africanos, mas falha na magnitude do seu valor. Apesar disso, a diferente magnitude registada nas várias estações de fundo rural é simulada pelo sistema de previsão: nas estações do Cerro e Terena onde o valor da concentração de PM10 observada é maior, também é previsto um maior valor pelo modelo.

Para além desta comparação, foi realizada uma análise quantitativa utilizando indicadores estatísticos de desempenho (Tabela 4.3), nomeadamente: Erro Quadrático Médio (EQM) e o Erro Sistemático Médio (ESM), medidas dos erros não sistemáticos (aleatório) e sistemáticos respetivamente, obtidos entre as duas séries horárias de dados (observados e modelados). Calculou-se também o coeficiente de correlação ( $r$ ), que reflete a relação linear entre duas variáveis e é, portanto, insensível a qualquer fator aditivo ou multiplicativo. Estes parâmetros foram previamente selecionados e sugeridos por Borrego *et al.* (2008).

**Tabela 4.3:** Parâmetros estatísticos utilizados para a validação do modelo (EQM, ESM e  $r$ ).

Estação de Monitorização	Média Medida (PM10)	Média Modelada (PM10)	EQM <sup>a</sup> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	ESM <sup>b</sup> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	$r$ <sup>c</sup>
CHA	14,98	9,69	10,94	-5,73	0,51
ERV	23,07	12,30	15,12	-10,78	0,39
FUN	12,73	7,28	9,73	-5,50	0,62
TER	17,47	8,93	20,27	-10,11	0,79
CER	13,82	9,60	8,49	-4,41	0,59
<b>Média</b>	<b>16,42</b>	<b>9,56</b>	<b>12,91</b>	<b>-7,30</b>	<b>0,58</b>

$$^a \text{EQM} = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N (\text{Model}_i - \text{Obs}_i)^2}$$

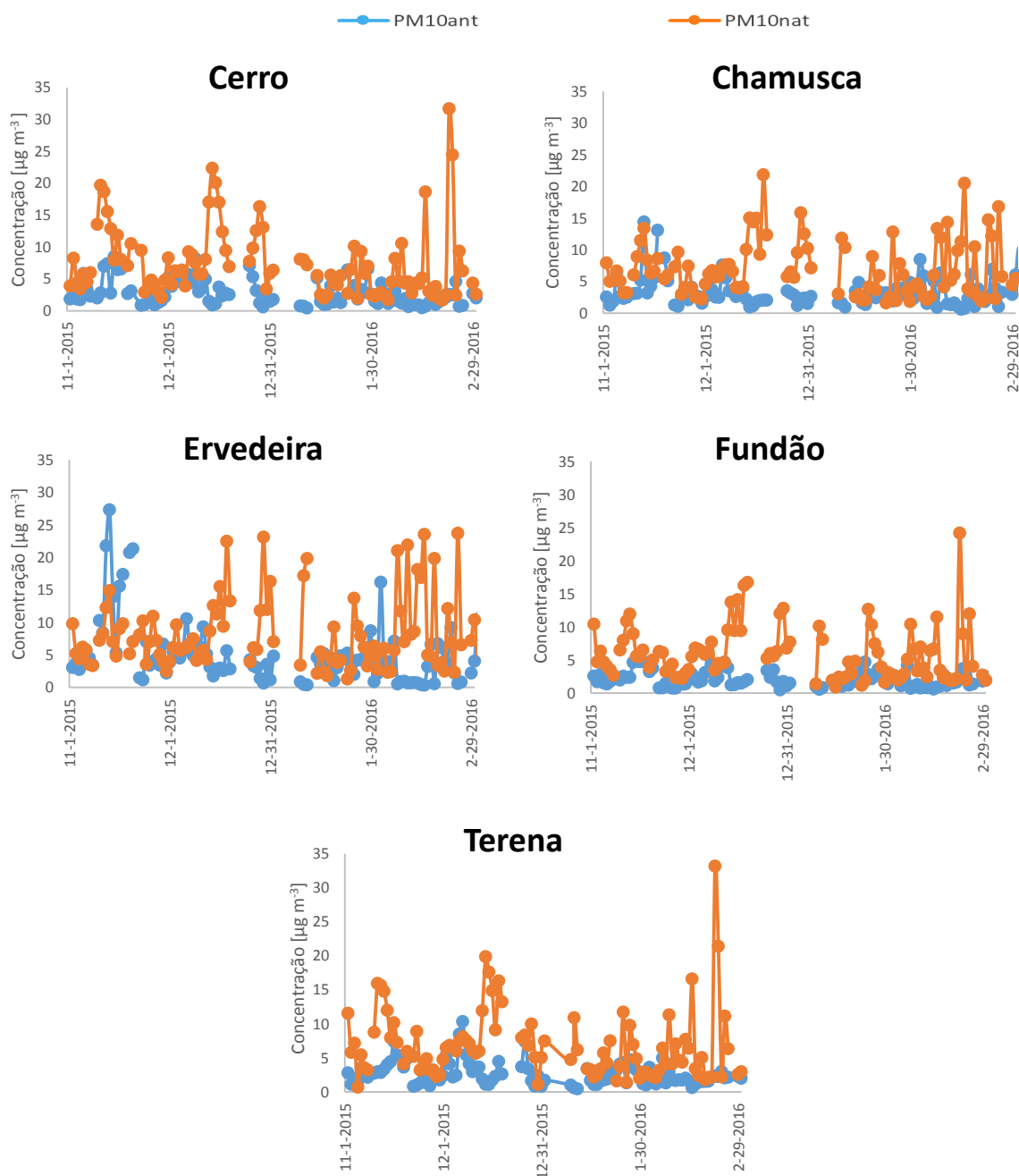
$$^b \text{ESM} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\text{Model}_i - \text{Obs}_i)$$

$$^c r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2][\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2]}}$$

Em média, o EQM está abaixo de  $13 \mu\text{g m}^{-3}$ , e os valores negativos do ESM indicam que, em geral, os resultados do modelo são inferiores aos observados, como já verificado na análise da Figura 4.5. Em termos médios a correlação existente entre as concentrações medidas e modeladas é razoável (0,58).

Um fator que poderá estar na base das diferenças observadas entre os dados medidos e os simulados é o facto da resolução vertical usada pelo modelo não ser a mais adequada (Menut *et al.*, 2013). Este será um dos pontos que deverá constar dos próximos desenvolvimentos/melhorias do sistema de previsão.

Apesar do desempenho do sistema de previsão apresentar deficiências, foi avaliada a contribuição das frações natural e antropogénica para as concentrações de PM10. A Figura 4.6 apresenta as concentrações de PM10 provenientes de fontes naturais e de fontes antropogénicas, separadamente, para as diferentes estações de monitorização, de novembro de 2015 a março de 2016.



**Figura 4.6:** Concentrações simuladas de PM10 provenientes de fontes naturais e antropogénicas, para as várias estações de fundo rural representativas.



As maiores contribuições das fontes naturais observam-se nas estações de TER, CER e FUN com percentagens superiores a 80%. Nas 2 estações restantes este valor baixa para 30-40%. Verifica-se que o contributo das fontes naturais para os níveis de PM10 simulados é, no geral, superior ao contributo das fontes antropogénicas.

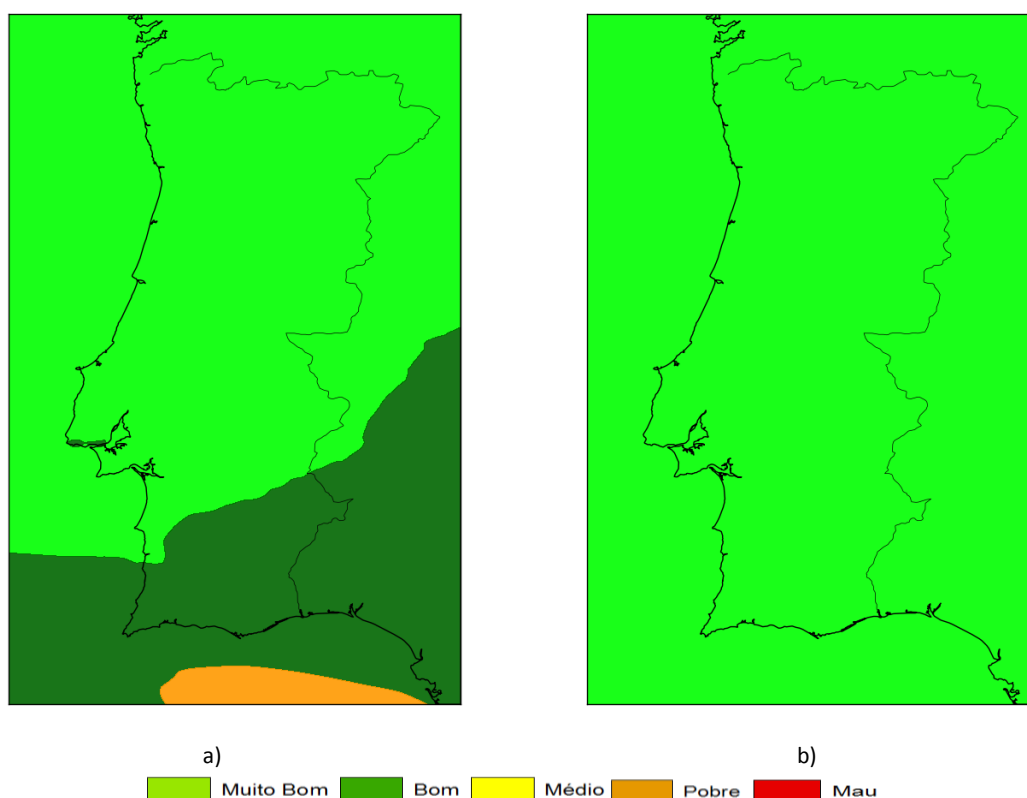
Estes valores elevados de contribuição de fontes naturais estão de acordo com os encontrados pela metodologia do Querol et al. (2010) e vêm reforçar a importância deste novo desenvolvimento do sistema de previsão (inclusão do módulo de poeiras), nomeadamente para a gestão de estratégias de melhoria da qualidade do ar. Estes resultados mostram que as medidas de mitigação das emissões de PM10 terão necessariamente que ter em conta estes valores da contribuição destas fontes naturais.

#### **4.4. Cálculo do IQA-PM de acordo com as contribuições modeladas**

No Capítulo 3 apresentaram-se recomendações a ter em conta na definição de um novo IQA, com base num inquérito efetuado a todas as CCDRs. Uma das recomendações defendidas pela maioria diz respeito à consideração da contribuição natural para o total de matéria particulada registada numa determinada área usando para tal dados modelados. O sistema de previsão da qualidade do ar para Portugal continental permite estimar as contribuições natural e antropogénica para o total de PM10 simulado no domínio de estudo. Assim sendo, efetuou-se uma análise de sensibilidade aos valores do IQA calculados pelo sistema de previsão retirando, ou não, a ocorrência de eventos naturais.

Esta análise foca-se especificamente no dia 21 de fevereiro de 2016, uma vez que nesta data registou-se o evento de poeiras do norte de África de maior magnitude, durante o período em estudo.

A Figura 4.7 apresenta os mapas do IQA modelado: em (a) considerando as concentrações totais de PM10 e em (b) descontando a fração natural das concentrações totais de PM10.



**Figura 4.7:** IQA modelado: considerando as concentrações totais de PM10 (a) e descontando a fração natural das concentrações totais de PM10 (b) para o dia 21 de fevereiro de 2016.

A comparação entre os dois mapas de IQA revela que o desconto da contribuição da fração natural nas concentrações totais de PM10 tem influência no IQA transmitido à população. No caso particular deste episódio, a subtração da contribuição das fontes naturais permite passar de uma situação “boa” qualidade do ar de (previsto para a região sul do domínio) para uma situação de “muito boa” qualidade do ar.

Estas conclusões vêm reforçar a importância da inclusão deste novo módulo de poeiras no sistema de previsão da qualidade do ar e da informação sobre eventos naturais acoplada do IQA.



## 5. Conclusão

A compilação dos IQA adotados por diferentes países e cidades mostra uma diversidade de abordagens, que torna difícil a sua comparação. As principais diferenças entre os índices encontram-se na função de agregação, no tipo e número de poluentes, no número de classes do índice e limiares associados. Observa-se também que da aplicação de vários IQA a um conjunto de dados de qualidade do ar resulta grandes diferenças na apresentação do IQA: quando aplicado o IQA dos EUA e da China a qualidade do ar para Portugal é em todo o território melhor. O mesmo não acontece quando se aplica o IQA da Alemanha, visto que este apresenta gamas de concentração mais exigentes, passando o território português a apresentar um pior cenário.

Através do questionário sobre a reformulação do IQA entregue aos 5 órgãos administrativos regionais em Portugal responsáveis pela monitorização da qualidade do ar (CCDRs), foi possível a identificação dos principais problemas do atual IQA, quanto ao seu uso e cálculo, bem como a comunicação ao público. Os resultados deste questionário revelaram potenciais melhorias para o IQA, principalmente através: da inclusão de PM<sub>2,5</sub>; da diferenciação de IQA para áreas específicas (tráfego, industrial); da inclusão de informações sobre eventos naturais; e do uso de dados modelados, quando não há dados medidos disponíveis. O impacto das duas primeiras alterações sugeridas no IQA foi avaliado utilizando um ano de dados medidos em Portugal. De acordo com os resultados obtidos, é importante o desenvolvimento de um IQA específico para as áreas de tráfego e industriais, fornecendo assim ao público um melhor indicador da qualidade do ar sobre estas áreas. No que diz respeito à inclusão de PM<sub>2,5</sub>, nenhum impacto foi encontrado no valor do IQA, o que indica que as PM<sub>10</sub> são suficientes para demonstrar a poluição proveniente de aerossóis. No entanto, um IQA agregado com a inclusão de mais poluentes, contribuirá certamente para uma melhor estimativa da exposição dos cidadãos e dos consequentes potenciais efeitos na saúde.

Este caso de estudo confirma a complexidade inerente e, ao mesmo tempo, a necessidade de criar um índice mais acessível, compreensível, e eficaz para a qualidade do ar. Outras medidas deverão ser estudadas como, por exemplo, a inclusão dos efeitos a longo prazo de poluentes como o O<sub>3</sub>.

Tendo em conta que uma das alterações importantes é a inclusão no IQA da informação sobre eventos naturais, numa segunda parte deste trabalho foi realizada uma avaliação do módulo de poeiras que integra a sistema de previsão operacional da qualidade do ar. Este novo

desenvolvimento permitirá fazer o prognóstico das poeiras e assim, incluir esta informação no IQA previsto.

Esta avaliação foi feita por comparação entre os dados modelados de PM<sub>10</sub> e os medidos nas estações de monitorização, considerando um conjunto de episódios de eventos naturais previamente selecionados. Procedeu-se também à quantificação dos valores de PM<sub>10</sub> de origem natural e antropogénica sendo possível avaliar o contributo da fração natural de PM<sub>10</sub>.

Concluiu-se desta avaliação que o sistema de modelação deteta o pico associado à intrusão de poeira proveniente dos desertos africanos, mas falha na magnitude do seu valor. Um fator que poderá estar na base das diferenças observadas entre os dados medidos e os modelados é o facto da resolução vertical usada pelo modelo de qualidade do ar não ser a mais adequada.

Relativamente à estimativa de concentrações de PM<sub>10</sub> provenientes de fontes naturais e antropogénicas, o sistema de modelação, estima uma elevada fração natural para o período em estudo, sendo este resultado consistente com a fração calculada pela metodologia de Querol et al. (2010) e muito importante para a gestão da qualidade do ar e elaboração de planos de qualidade do ar.

Por fim, é notório que o desconto da contribuição da fração natural nas concentrações totais de PM<sub>10</sub> tem influência no IQA transmitido para a população. A análise do IQA para Portugal efetuada com base nos dados modelados mostra que existem diferenças em alguns locais quando se tem a presença ou não de eventos naturais.

A continuidade deste trabalho será uma importante para o sistema de previsão da qualidade do ar, em especial, para apoiar na reformulação do IQA atual. Muito trabalho ainda poderá ser feito utilizando novos dados para assim proceder-se a conclusões mais consistentes. A inclusão dos efeitos a longo prazo de poluentes como o O<sub>3</sub> não foi estudada podendo assim ser incorporado num próximo estudo.

## Referências Bibliográficas

Basart, S., Pérez, C., Nickovic, S., Cuevas, E., e Baldasano, J.M., 2012. Development and evaluation of the BSC-DREAM8b dust regional model over northern Africa, the mediterranean and the middle east. *Tellus, Series B: Chemical and Physical Meteorology*, 64(1), pp.1–23.

Bessagnet, B., Hodzic, A., Vautard, R., Beekmann, M., Cheinet, S., Honor, C., Liousse, C., e Rouil, L., 2004. Aerosol modeling with CHIMERE - Preliminary evaluation at the continental scale. *Atmospheric Environment*, 38(18), pp.2803–2817.

Bezuglaya, E.Y., Shchutskaya, A., e Smirnova, I., 1993. Air pollution index and interpretation of measurements of toxic pollutant concentrations. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, [online] 27(5), pp.773–779.

Bishoi, B., Prakash, A, e Jain, V.K., 2009. A Comparative Study of Air Quality Index Based on Factor Analysis and US-EPA Methods for an Urban Environment. *Aerosol and Air Quality Research*, 9(1), pp.1–17.

Borrego, C., Monteiro, A., Ferreira, J., Miranda, A.I., Costa, A.M., Carvalho, A.C., e Lopes, M., 2008. Procedures for estimation of modelling uncertainty in air quality assessment. *Environment International*, 34(5), pp.613–620.

Cannistraro, G., e Ponterio, L., 2009. Analysis of Air Quality in the Outdoor Environment of the City of Messina by an Application of the Pollution Index Method. *International Journal of Civil, Enviromental, Structural, Construction and Architectural Engineering*, 3(6), pp.330–336.

Cheng, W.L., Chen, Y.S., Zhang, J., Lyons, T.J., Pai, J.L., e Chang, S.H., 2007. Comparison of the Revised Air Quality Index with the PSI and AQI indices. *Science of the Total Environment*, 382(2-3), pp.191–198.

Cuesta, M.M., 2015. *Presentation at 20th EIONET Workshop on Air Quality Assessment and Management*. European Commission.

*Diretiva 2008/50/CE do Parlamento Europeu e do Conselho.*

Doan, M.H., e East, C., 1977. A proposed air quality index for urban areas. *Water, Air, and Soil Pollution*, 8(4), pp.441–451.

Elshout, van den, Léger, K., e Nussio, F., 2008. Comparing urban air quality in Europe in real time. A review of existing air quality indices and the proposal of a common alternative. *Environment International*, 34(5), pp.720–726.

Elshout, S. van den, 2012. *Common Information to European Air Quality Index*. Holanda. pp. 1-38.

Elshout, van den, Léger, K., e Heich, H., 2014. CAQI common air quality index - Update with PM2.5 and sensitivity analysis. *Science of the Total Environment*, 488-489(1), pp.461–468.

EPA, 2006. Guidelines for reporting of daily air quality - Air Quality Index (AQI). pp.1–31.

Ferreira, F., Monjardino, J., Mendes, L., Jardim, D., e Martins, C., 2015. *Identificação e Avaliação de Eventos Naturais no ano de 2014 em Portugal*. Agência Portuguesa do Ambiente.

Kanchan, A.K.G., e Goyal, P., 2015. A Review on Air Quality Indexing System. *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 9-2(June), pp.101–113.

Kowalska, M., Osrodka, L., Klejnowski, K., Zejda, J., Krajny, E., e Wojtylak, M., 2009. Air quality index and its significance in environmental health risk communication. *Environmental Protection*, (Vol. 35, no. 1), pp.13–21.

Kyrkilis, G., Chaloulakou, A., e Kassomenos, P.A., 2007. Development of an aggregate Air Quality Index for an urban Mediterranean agglomeration: Relation to potential health effects. *Environment International*, 33(5), pp.670–676.

Leeuw, F., and Mol, W., 2005. *Air Quality and Air Quality Indices : a world apart?*. Holanda.

Leger, K., and Elshout, S. van den, 2006. *Common Air Quality Index - CAQI in Europe*.

Marelli, L., 2007. *Contribution of natural sources to air pollution levels in the EU - a technical basis for the development of guidance for the Member States* Luisa Marelli Institute for Environment and Sustainability. European Commission, Joint Research Centre. Itália.

Melrose, J., Perroy, R., e Careas, S., 2011. *Commission Staff Working Paper establishing guidelines for demonstration and subtraction of exceedances attributable to natural sources under the Directive 2008/50/EC on ambient air quality and cleaner air for Europe*. Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015, pp. 1-38. Bruxelas.

Menuet, L., Bessagnet, B., Khvorostyanov, D., Beekmann, M., Blond, N., Colette, A., Coll, I., Curci, G., Foret, G., Hodzic, A., Mailler, S., Meleux, F., Monge, J.-L., Pison, I., Siour, G., Turquety, S., Valari, M., Vautard, R., e Vivanco, M.G., 2013. CHIMERE 2013: a model for regional atmospheric composition modelling. *Geoscientific Model Development*, 6(4), pp.981–1028.

Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, 2012. *Technical Document on Ambient Air Quality Index (on trial)*. [online] China.

Monteiro, A., Fernandes, A.P., Gama, C., Borrego, C., e Tchepel, O., 2015. Assessing the mineral dust from North Africa over Portugal region using BSC–DREAM8b model. *Atmospheric Pollution Research*, 6(1), pp.70–81.

Monteiro, A., Lopes, M., Miranda, A.I., Borrego, C., e Vautard, R., 2005. Air pollution forecast in Portugal: a demand from the new air quality framework directive. *International Journal of Environment and Pollution*, 25(1/2/3/4), p.4.

Monteiro, A., Miranda, A.I., Borrego, C., Vautard, R., Ferreira, J., e Perez, A.T., 2007. Long-term assessment of particulate matter using CHIMERE model. *Atmospheric Environment*, [online] 41(36), pp.7726–7738.

Monteiro, A.C.P., 2009. *Procedimento de Garantia e Controlo de Qualidade para a Previsão da Qualidade do Ar*. Universidade de Aveiro.

Neto, J., Ferreira, F., Torres, P.M., e Boavida, F., 2005. Lisbon air quality forecast using statistical methods. *International Journal of Environment and Pollution*, [online] 39(3/4), p.333.

Pyta, H., 2008. Classification of Air Quality Based on Factors. *Environment Protection Engineering*, [online] 34(4), pp.111–117.

Querol, X., Alastuey, A., Pey, J., Escudero, M., Castillo, S, Ortiz, A.G., Pallarés, M., Jiménez, S., Cristóbal, A., Ferreira, F., Marques, F., Monjardino, J., Cuevas, E., Alonso, S., Artíñano, B., Salvador, P., e Rosa, J. de la, 2010. Methodology for the identification of natural episodes in PM10 and PM2.5, and justification with regards to the exceedances of the PM10 daily limit value. *Instituto de Diagnóstico Ambiental Y Estudios del Agua - CSIC - Ministerio de Ciencia e Innovación, Universidade Nova de Lisboa, AUMet - Izaña, CIEMAT, Universidad de Huelva*, p.40.

Santana, E., Cunha, K.B. da, Ferreira, A.L., e Zamboni, A., 2012. *Padrões de qualidade do ar: experiência comparada Brasil, EUA e União Europeia*. São Paulo.

Schmidt, H., Derognat, C., Vautard, R., e Beekmann, M., 2001. A comparison of simulated and observed ozone mixing ratios for the summer of 1998 in Western Europe. *Atmospheric Environment*, 35(36), pp.6277–6297.

Shooter, D., e Brimblecombe, P., 2009. Air Quality Indexing. *International Journal of Environment and Pollution*, 36 (1-3), pp.305–323.

Skamarock, W.C., Klemp, J.B., Dudhi, J., Gill, D.O., Barker, D.M., Duda, M.G., Huang, X.-Y., Wang, W., and Powers, J.G., 2008. A Description of the Advanced Research WRF Version 3. *Technical Report*, (June), p.113.



Stieb, D.M., Burnett, R.T., Smith-Doiron, M., Brion, O., Shin, H.H., e Economou, V., 2008. A new multipollutant, no-threshold air quality health index based on short-term associations observed in daily time-series analyses. *Journal of the Air & Waste Management Association (1995)*, [online] 58(3), pp.435–50.

Stieb, D.M., Doiron, M.S., Blagden, P., e Burnett, R.T., 2005. Estimating the public health burden attributable to air pollution: an illustration using the development of an alternative air quality index. *Journal of toxicology and environmental health. Part A*, 68(13-14), pp.1275–88.

Viana, M., Pey, J., Leeuw, F. de, Querol, X., Alastuey, A., Dall'Osto, M., e Moreno, T., 2011. *Reporting on natural events in the EU Member States under Directive 2008/50/EC: years 2008-2009*. Holanda.

WHO, 2005. *Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide: Global update 2005. Summary of risk assessment*. Geneva.

## Webgrafia

- [1]. Agência Portuguesa do Ambiente, 2015. *QualAr - Base de Dados Online sobre a Qualidade do Ar*. Disponível em: <<http://qualar.apambiente.pt/>> [Acedido a 11 Nov. 2015].
- [2]. Air Now, 2015. *Air Quality Index (AQI) Basics*. [online] Disponível em: <<http://cfpub.epa.gov/airnow/index.cfm?action=aqibasics.aqi>> [Acedido a 9 Nov. 2015].
- [3]. Government of Canada, 2015. *About the Air Quality Health Index*. Environment and Climate Change Canada. Disponível em: <<https://ec.gc.ca/cas-aqhi/default.asp?lang=En&n=065BE995-1>> [Acedido a 11 Nov. 2015].
- [4]. British Columbia, 2015. *Air Quality Health Index*. Disponível em: <<http://www.bcairquality.ca/readings/air-quality-health-index.html>> [Acedido a 11 Nov. 2015].
- [5]. Government of Ontario, M. of the E., 2015. What is the Air Quality Health Index? [online] Disponível em: <[http://www.airqualityontario.com/science/aqhi\\_description.php](http://www.airqualityontario.com/science/aqhi_description.php)> [Acedido a 9 Nov. 2015].
- [6]. CCDR-LVT, 2016. *O Ar e os Poluentes Atmosféricos*. Disponível em: <<http://www.ccdr-lvt.pt/pt/o-ar-e-os-poluente-atmosfericos/8082.htm>> [Acedido a 20 Jan. 2016].
- [7]. Agência Portuguesa do Ambiente e Universidade de Aveiro, 2015. *Previsão do Índice de Qualidade do Ar para Portugal Continental*. Disponível em: <<http://previsao-gar.web.ua.pt/>> [Acedido a 11 Nov. 2015].
- [8]. Anon, 2016. *EMEP*. Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. Disponível em: <<http://www.emep.com>>.
- [9]. Government of India, and Ministry of Environment, F.& C.C., 2014. *National Air Quality Index*. [online] Índia. Disponível em: <[http://www.indiaenvironmentportal.org.in/files/file/Air Quality Index.pdf](http://www.indiaenvironmentportal.org.in/files/file/Air%20Quality%20Index.pdf)>.
- [10]. Governo do Estado de São Paulo, 2015. *Padrões de Qualidade do Ar*. [online] Disponível em: <<http://ar.cetesb.sp.gov.br/padroes-de-qualidade-do-ar/>> [Acedido a 11 Dez. 2015].

- [11]. Hamekoski, K., and Koskentalo, T., 2012. *Urban Air Quality: Monitoring and Modelling: Proceedings of the First International Conference on Urban Air Quality*. Finland: Springer Science & Business Media. Disponível em: <<https://books.google.com/books?id=kQboCAAAQBAJ&pgis=1>> [Acedido a 11 Dez. 2015].
- [12]. Department of Environmental Affairs Republic of South Africa, 2012. Proposed air quality index for South Africa. Disponível em: <<http://www.airqualitylekgotla.co.za/assets/session-1---proposed-air-quality-index-for-south-africa.pdf>>. [Acedido a 5 Dez. 2015]
- [13]. Barcelona Supercomputing Center, 2014. *Air Quality Index and Levels in the Caliope AQF System*. Disponível em: <[http://www.bsc.es/projects/earthscience/visor/bases\\_datos/image\\_viewer/docs/2014\\_0410\\_Descripcion\\_ICA\\_y\\_NCA\\_usados\\_en\\_CALIOPE\\_eng.pdf](http://www.bsc.es/projects/earthscience/visor/bases_datos/image_viewer/docs/2014_0410_Descripcion_ICA_y_NCA_usados_en_CALIOPE_eng.pdf)> [Acedido a 11 Nov 2015]
- [14]. Leeuw, F., and Mol, W., 2005. *Air Quality and Air Quality Indices : a world apart ?* [online] Holanda. Disponível em: <<http://etc-acc-eionet.eu.int/>>.
- [15]. DEFRA, 2013. *What is the Daily Air Quality Index?* [online] Disponível em: <<http://uk-air.defra.gov.uk/air-pollution/daqi?view=more-info>> [Acedido a 11 Dec. 2015].
- [16]. Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, 2012. *Technical Document on Ambient Air Quality Index (on trial)*. [online] China. Disponível em: <<http://kjs.mep.gov.cn/hjbhzb/bzwb/dqhjbh/jcgfffbz/201203/W020120410332725219541.pdf>>.

## **Anexos**

**Anexo I – Índices de Qualidade do Ar**

**Anexo II – Índice de Qualidade do Ar e Saúde**

## Anexo I – Índices de Qualidade do Ar

### Tabelas com as gamas de concentração em função da classe do IQA para os diferentes países

- Índia

**Tabela A.1:** Gamas de concentrações em função da categoria de IQA para a Índia. Adaptado de: [9]

(Todas as concentrações estão em  $\mu\text{g.m}^{-3}$ , exceto, CO em  $\text{mg.m}^{-3}$ )

Categoria IQA	PM10 (24h)	PM2,5 (24h)	NO <sub>2</sub> (24h)	O <sub>3</sub> (8h)	CO (8h)	SO <sub>2</sub> (24h)	NH <sub>3</sub> (24h)	Pb (24h)
Bom (0-50)	0-50	0-30	0-40	0-50	0-1	0-40	0-200	0-0,5
Satisfatório (51-100)	51-100	31-60	41-80	51-100	1,1-2	41-80	201-400	0,5-1
Moderadamente poluído (101-200)	101-250	61-90	81-180	101-168	2,1-10	81-380	401-800	1,1-2
Pobre (201-300)	251-350	91-120	181-280	169-208	10-17	381-800	801-1200	2,1-3
Muito Pobre (301-400)	351-430	121-250	281-400	209-748	17-34	801-1600	1200-1800	3,1-3,5
Severo (401-500)	430+	250+	400+	748+	34+	1600+	1800+	3,5+

- Brasil

**Tabela A.2:** Gamas de concentrações em função da categoria de IQA para o Brasil. Adaptado de: [10]

(Todas as concentrações estão em  $\mu\text{g.m}^{-3}$ , exceto, CO em ppm)

Categoria IQA	PM10 (24h)	PM2,5 (24h)	NO <sub>2</sub> (24h)	O <sub>3</sub> (8h)	CO (8h)	SO <sub>2</sub> (24h)
Bom (0-40)	0-50	0-25	0-200	0-100	0-9	0-20
Moderado (41-80)	51-100	26-50	201-240	101-130	10-11	21-40
Mau (81-120)	101-150	51-75	241-320	131-160	12-13	41-365
Muito Mau (121-200)	151-250	76-125	321-1130	161-200	14-15	366-800
Péssimo (>200)	>250	>125	>1130	>200	>15	>800

- **Finlândia**

**Tabela A.3:** Gamas de concentrações em função da categoria de IQA para a Finlândia. Adaptado de: [11]

(Todas as concentrações estão em  $\mu\text{g.m}^{-3}$ , exceto, CO em  $\text{mg.m}^{-3}$ )

Categoria IQA	PM10 (24h)	NO <sub>2</sub> (1h)	NO <sub>2</sub> (24h)	O <sub>3</sub> (1h)	CO (1h)	CO (8h)	SO <sub>2</sub> (1h)	SO <sub>2</sub> (24h)
Bom (0-50)	0-35	0-35	0-35	0-75	0-4	0-4	0-40	0-40
Satisfatório (51-100)	36-70	36-150	36-70	76-150	5-20	5-8	41-250	41-80
Moderadamente Poluído (101-200)	71-140	151-300	71-140	151-300	21-40	9-16	251-500	81-160
Pobre (201-300)	>140	>300	>140	>300	>40	>16	>500	>160

- **África do Sul**

**Tabela A.4:** Gamas de concentrações em função da categoria de IQA para a África do Sul. Adaptado de: [12]

(Todas as concentrações estão em  $\mu\text{g.m}^{-3}$ )

Categoria IQA	Banda	PM10 (24h)	PM2,5 (24h)	NO <sub>2</sub> (24h)	O <sub>3</sub> (8h)	SO <sub>2</sub> (24h)
Baixo	1	0-40	0-22	0-66	0-26	0-115
	2	41-80	23-43	67-133	27-53	116-231
	3	81-120	44-65	133-200	54-80	232-350
Moderado	4	121-130	66-75	201-267	81-107	351-400
	5	131-140	76-85	268-334	108-134	401-450
Alto	6	141-150	86-95	335-400	135-160	451-500
	7	151-160	96-105	401-467	161-187	501-550
Muito Alto	8	161-170	106-115	468-534	188-213	551-600
	9	171-180	116-125	534-601	214-240	601-650
Perigoso	10	>181	>126	>602	>241	>651

- **Portugal**

**Tabela A.5:** Gamas de concentrações em função da categoria de IQA para a Índia. Adaptado de: [1]

(Todas as concentrações estão em  $\mu\text{g.m}^{-3}$ , exceto, CO em  $\text{mg.m}^{-3}$ )

Categoria IQA	PM10 (24h)	NO <sub>2</sub> (1h)	O <sub>3</sub> (1h)	CO (8h)	SO <sub>2</sub> (1h)
Muito Bom	0-19	0-99	0-59	0-4999	0-139
Bom	20-34	100-139	60-119	5000-6999	140-209
Médio	35-49	140-199	120-179	7000-8499	210-349
Fraco	50-119	200-399	180-239	8500-9999	350-499
Mau	>120	>400	>240	>10000	>500

- **Espanha**

**Tabela A.6:** Gamas de concentrações em função da categoria de IQA para Espanha. Adaptado de: [13]

(Todas as concentrações estão em  $\mu\text{g.m}^{-3}$ , exceto, CO em  $\text{mg.m}^{-3}$ )

Categoria IQA	PM10 (24h)	PM2,5 (24h)	NO <sub>2</sub> (1h)	O <sub>3</sub> (1h)	CO (8h)	SO <sub>2</sub> (1h)
Bom	0-25	0-15	0-35	0-100	0-3	0-70
Satisfatório	25-40	15-25	35-80	100-130	3-6	70-125
Pobre	40-50	25-40	80-200	130-180	6-10	125-350
Mau	50-75	40-60	200-400	180-240	10-15	350-500
Muito Mau	>75	>60	>400	>240	>15	>500

- **Bélgica**

**Tabela A.7:** Gamas de concentrações em função da categoria de IQA para a Bélgica. Adaptado de: [14]

(Todas as concentrações estão em  $\mu\text{g.m}^{-3}$ )

Categoria IQA	Banda	PM10 (24h)	O <sub>3</sub> (8h)	NO <sub>2</sub> (1h)	SO <sub>2</sub> (24h)
Excelente	1	0 - 10	0-30	0-25	0-15
Muito Bom	2	11 - 20	31 - 45	26 - 45	16 - 30
Bom	3	21 - 30	46 - 60	46 - 60	31 - 45
Razoável	4	31 - 40	61 - 80	61 - 80	46 - 60
Moderado	5	41 - 50	81 - 100	81 - 110	61 - 80
Pobre	6	51 - 70	101 - 120	111 - 150	81 - 100
Muito Pobre	7	71 - 100	121 - 150	151 - 200	101 - 125
Mau	8	101 - 150	151 - 200	201 - 270	126 - 165
Muito Mau	9	151 - 200	201 - 270	271 - 400	166 - 250
Muito Perigoso	10	>200	>270	>400	>250

- **Estados Unidos**

**Tabela A.8:** Gammas de concentrações em função da categoria de IQA para os Estados Unidos. Adaptado de: Guidelines for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index (AQI)(EPA, 2006).

(Todas as concentrações estão em ppm, em exceto, PM10 e PM2,5 em  $\mu\text{g.m}^{-3}$ )

Categoria IQA	O <sub>3</sub> (8h)	O <sub>3</sub> (1h) <sup>1</sup>	PM10 (24h)	PM2,5 (24h)	CO (8h)	SO <sub>2</sub> (24h)	NO <sub>2</sub> (24h)
Bom (0 - 50)	0 – 0,064	-	0 – 54	0 – 15,4	0 – 4,4	0 – 0,034	( <sup>2</sup> )
Moderado (51 – 100)	0,065 – 0,084	-	55 – 154	15,5 – 40,4	4,5 – 9,4	0,035 – 0,144	( <sup>2</sup> )
Insalubre para grupos sensíveis (101 - 150)	0,085 – 0,104	0,125 – 0,164	155 – 254	40,5 – 65,4	9,5 – 12,4	0,145 – 0,224	( <sup>2</sup> )
Insalubre (151 – 200)	0,105 – 0,124	0,165 – 0,204	255 – 354	65,5 – 150,4	12,5 – 15,4	0,225 – 0,304	( <sup>2</sup> )
Muito Insalubre (201 – 300)	0,125 – 0,374 (0,155 – 0,404) <sup>4</sup>	0,205 – 0,404	355 – 424	150,5 – 250,4	15,5 – 30,4	0,305 – 0,604	0,65 – 1,24
Perigoso (301 – 400)	( <sup>3</sup> )	0,405 – 0,504	425 – 504	250,5 – 350,4	30,5 – 40,4	0,605 – 0,804	1,25 – 1,64
Perigoso (401 – 500)	( <sup>3</sup> )	0,505 – 0,604	505 – 604	350,4 – 500,4	40,5 – 50,4	0,805 – 1,004	1,65 – 2,04

<sup>1</sup> Cada área é obrigada a comunicar o IQA com base em valores de ozono de 8 horas. No entanto, existem áreas em que um IQA com base nos valores de ozono de 1 hora seria mais protetor. Nestes casos, o índice para os valores de ozono para 8 horas como para 1 hora podem ser calculados e é registado o IQA máximo.

<sup>2</sup> O NO<sub>2</sub> não tem NAAQS de curto prazo e pode gerar um IQA somente acima de 200.

<sup>3</sup> Os valores de O<sub>3</sub> de 8 horas não definem valores de IQA elevados ( $\geq 301$ ). IQA com valores de 301 ou superiores são calculados com concentrações de O<sub>3</sub> de 1 hora.

<sup>4</sup> Os números entre parênteses estão associados a valores de 1 hora sendo utilizados unicamente na sobreposição desta categoria.

- **Alemanha**

**Tabela A.9:** Gammas de concentrações em função da categoria de IQA para a Alemanha. Adaptado de: [14]

(Todas as concentrações estão em  $\mu\text{g.m}^{-3}$ , exceto, CO em  $\text{mg.m}^{-3}$ )

Categoria IQA	Índice	NO <sub>2</sub> (1h)	SO <sub>2</sub> (1h)	CO (8h)	O <sub>3</sub> (1h)	PM10 (24h)
Muito boa	1	0-24	0-24	0-0,9	0-32	0-9
Boa	2	25-49	25-49	1-1,9	33-64	10-19
Satisfatória	3	50-99	50-119	2-3,9	65-119	20-34
Suficiente	4	100-199	120-349	4-9,9	120-179	35-49
Pobre	5	200-499	350-999	10-29,9	180-239	50-99
Muito Mau	6	>500	>1000	>30	>240	>100



- Reino Unido

**Tabela A.10:** Gamas de concentrações em função da categoria de IQA para o Reino Unido. Adaptado de: [15]

(Todas as concentrações estão em  $\mu\text{g.m}^{-3}$ )

Categoria IQA	Banda	O <sub>3</sub> (8h)	NO <sub>2</sub> (1h)	SO <sub>2</sub> (15 minutos)	PM <sub>2,5</sub> (24h)	PM <sub>10</sub> (24h)
Baixo	1	0-33	0-67	0-88	0-11	0-16
	2	34-66	68-134	89-177	12-23	17-33
	3	67-100	135-200	178-266	24-35	34-50
Moderado	4	101-120	201-267	267-354	> 36-41	51-58
	5	121-140	268-334	355-443	> 42-47	59-66
	6	141-160	335-400	444-532	>48-53	67-75
Alto	7	161-187	401-467	533-710	54-58	76-83
	8	188-213	468-534	711-887	59-64	84-91
	9	214-240	535-600	888-1064	65-70	92-100
Muito Alto	10	>241	>601	>1065	>71	>101

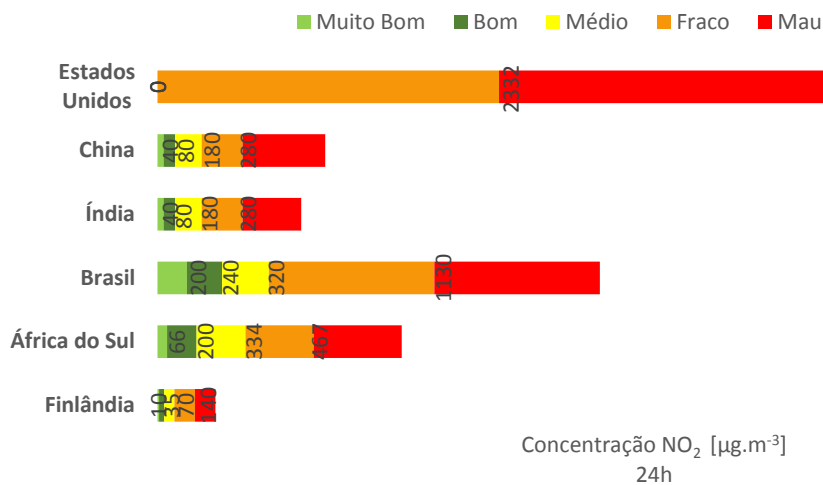
- China

**Tabela A.11:** Gamas de concentrações em função da categoria de IQA para a China. Adaptado de: [16]

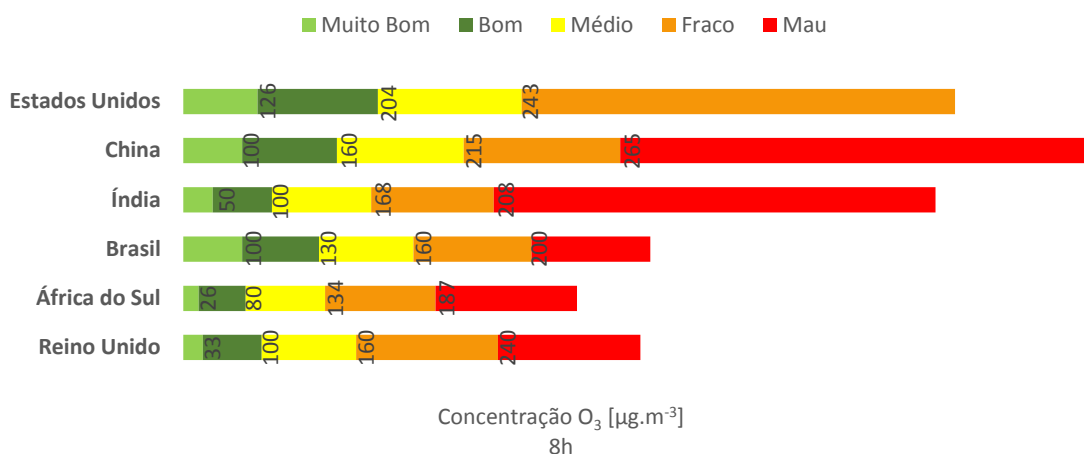
(Todas as concentrações estão em  $\mu\text{g.m}^{-3}$ , exceto, CO em  $\text{mg.m}^{-3}$ )

Categoria IQA	SO <sub>2</sub> (24h)	SO <sub>2</sub> (1h)	NO <sub>2</sub> (24h)	NO <sub>2</sub> (1h)	PM <sub>10</sub> (24h)	CO (24h)	CO (1h)	O <sub>3</sub> (1h)	O <sub>3</sub> (8h)	PM <sub>2,5</sub> (24h)
0 - 50	0 - 50	0 - 150	0 - 40	0 - 100	0 - 50	0 - 2	0 - 5	0 - 160	0 - 100	0 - 35
51 - 100	51 - 150	151 - 500	41 - 80	101 - 200	51 - 150	3 - 4	6-10	161 - 200	101 - 160	36 - 75
101 - 150	151 - 475	501 - 650	81 - 180	201 - 700	151 - 250	5-14	11-35	201 - 300	161 - 215	76 - 115
151 - 200	476 - 800	651 - 800	181 - 280	701 - 1200	251 - 350	15 - 24	36 - 60	301 - 400	216 - 265	116 - 150
201 - 300	801 - 1600	<sup>(2)</sup>	281 - 565	1201 - 2340	351 - 420	25 - 36	61 - 90	401 - 800	266 - 800	151 - 250
>300	1601 - 2620	<sup>(2)</sup>	566 - 940	2341 - 3840	421 - 600	37 - 60	91 - 150	801 - 1200	<sup>-3</sup>	251 - 500

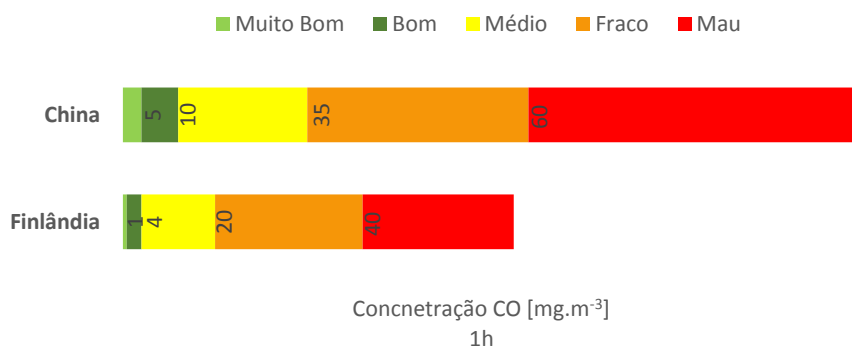
## Figuras da análise comparativas de classes de IQA para os diferentes países



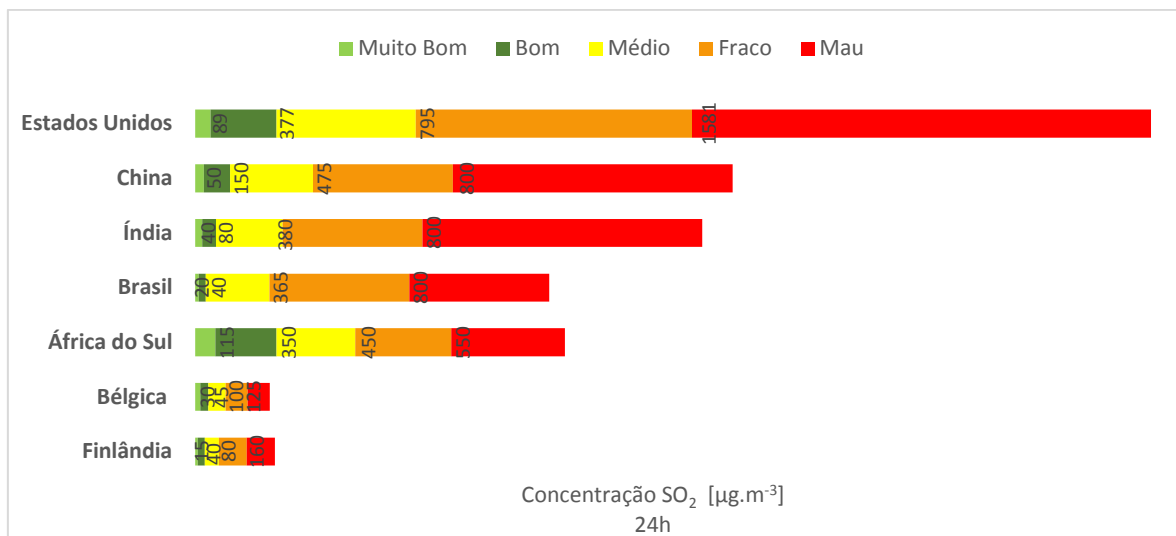
**Figura A.1:** Comparação das classes IQA relativamente às concentrações de NO<sub>2</sub> (24h), por categoria do IQA, por país.



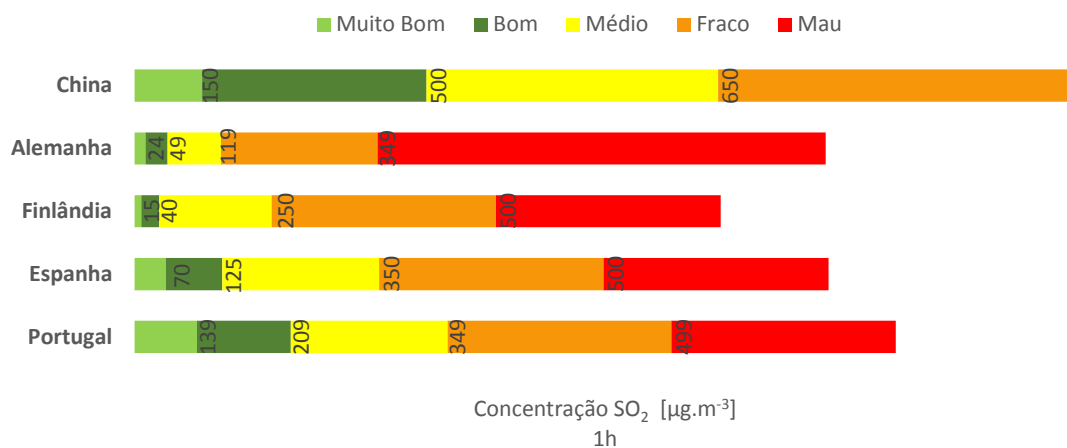
**Figura A.2:** Comparação das classes do IQA relativamente às concentrações de O<sub>3</sub> (8h), por categoria do IQA, por país.



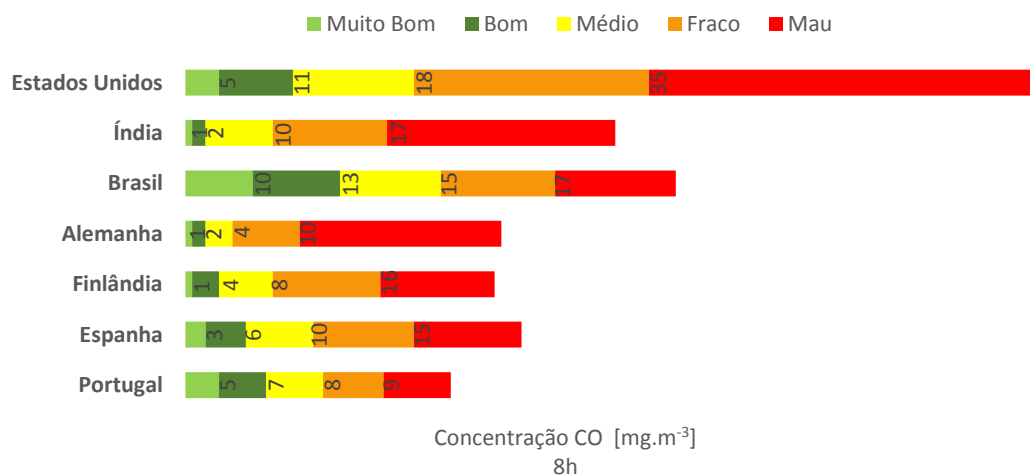
**Figura A.3:** Comparação das classes do IQA relativamente às concentrações de CO (1h), por categoria do IQA, por país.



**Figura A.4:** Comparação das classes do IQA relativamente às concentrações de SO<sub>2</sub> (24h), por categoria do IQA, por país.



**Figura A.5:** Comparação das classes do IQA relativamente às concentrações de SO<sub>2</sub> (1h), por categoria do IQA, por país.



**Figura A.6:** Comparação das classes do IQA relativamente às concentrações de CO (8h), por categoria do IQA, por país.

## Anexo II – Índice de Qualidade do Ar e Saúde

- Gibraltar

**Tabela A.12:** Gamas de concentrações em função da categoria de IQA para a Bélgica. Adaptado de: (Government of Gibraltar and Gibraltar Environmental Agency, 2015)

(Todas as concentrações estão em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , exceto, CO em  $\text{mg}/\text{m}^3$ )

Categoria IQA	Banda	O <sub>3</sub> (8h)	NO <sub>2</sub> (1h)	SO <sub>2</sub> (15 minutos)	CO (8h)	PM10 (24h)
Baixo	1	0-33	0-95	0-88	0-3,8	0-21
	2	34-65	96-190	89-176	3,9-7,6	22-42
	3	66-99	199-286	177-265	7,7-11,5	43-64
Moderado	4	100-125	287-381	266-354	11,6-13,4	65-74
	5	126-153	382-477	355-442	13,5-15,4	75-86
	6	154-179	478-572	443-531	15,5-17,3	87-96
Alto	7	180-239	573-635	532-708	17,4-19,2	97-107
	8	240-299	636-700	709-886	19,3-21,2	108-118
	9	300-359	701-763	887-1063	21,3-23,1	119-129
Muito Alto	10	>360	>764	>1064	>32,2	>130